

PCT/EP200 4 / 0 0 8 2 6 2



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

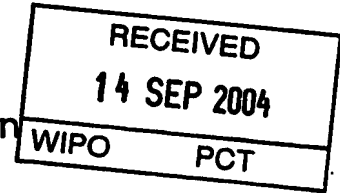
Office européen  
des brevets

23.07.04

Bescheinigung

Certificate

Attestation



Die angehefteten Unterla-  
gen stimmen mit der  
ursprünglich eingereichten  
Fassung der auf dem näch-  
sten Blatt bezeichneten  
europäischen Patentanmel-  
dung überein.

The attached documents  
are exact copies of the  
European patent application  
described on the following  
page, as originally filed.

Les documents fixés à  
cette attestation sont  
conformes à la version  
Initialement déposée de  
la demande de brevet  
européen spécifiée à la  
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03017032.8

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Best Available Copy

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

PCT/EP200 4 / 0 0 8 2 6 2

Anmeldung Nr:  
Application no.: 03017032.8  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 28.07.03  
Date de dépôt:

23.07.03

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Leica Geosystems AG  
Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg  
SUISSE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Vorrichtung und Verfahren zum Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen  
Ausrichtung eines hochpräzisen Prüflings

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

G01D/

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL  
PT RO SE SI SK TR LI

28. Juli 2003

1

**Vorrichtung und Verfahren zum Prüfen oder Kalibrieren der  
winkelabhängigen Ausrichtung eines hochpräzisen Prüflings**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum  
5 Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung eines  
hochpräzisen Prüflings.

Zum Prüfen oder Kalibrieren von Hochpräzisionsteilen, die  
entweder zur hochgenauen Messung, Überprüfung oder Vorgabe von  
10 Winkeln mit einer Präzision bis unter 0,5" bzw. 0,15 mgon  
dienen, oder allgemein hochgenaue Winkelausrichtungen  
erfordern, werden höchstpräzise Prüf- oder  
Kalibriervorrichtungen benötigt, deren Genauigkeit noch höher  
liegen muss als die der zu prüfenden oder kalibrierenden  
15 hochpräzisen Prüflinge.

Insbesondere zum Prüfen oder Kalibrieren von Theodoliten, bei  
denen ein Horizontal- und Vertikalwinkel durch -  
beispielsweise statische oder dynamische - Winkelabgriffe  
20 bestimmt werden, sind unterschiedliche Vorrichtungen und  
Verfahren aus dem Stand der Technik bekannt.

Bei einem klassischen, seit längerem bekannten Theodoliten-  
Winkelabgriffsprüfverfahren wird von einem fixen Standpunkt  
25 aus manuell mit dem Theodoliten-Fernrohr auf mehrere  
feststehende, um den Standpunkt verteilte Kollimatoren  
gezielt. Dabei wird die Konstanz der Winkeldifferenzen,  
gemessen an verschiedenen Kreisstellen des Prüflings, als Mass  
für die horizontale Winkelmessgenauigkeit verwendet. Für die  
30 vertikale Messgenauigkeit werden die  
Kollimatorwinkeldifferenzen mit den Sollwerten verglichen.  
Dieses Verfahren entspricht im Wesentlichen dem Prüfverfahren  
nach ISO - Norm 17123-3 (Optics and optical instruments -  
Field procedures for testing geodetic and surveying

instruments), jedoch wird dort nicht auf Kollimatoren, sondern auf fixe Ziele gezielt. Nachteile dieser Theodoliten-Winkelabgriffsprüfverfahren sind unter anderem, dass eine vollständige Automatisierung des Messvorgangs nur bedingt  
5 möglich ist, die Anzahl der möglichen unterschiedlichen Messungen auf die Anzahl der anzielbaren Kollimatoren beschränkt ist und das Messergebnis stark vom Beobachter abhängt.

- 10 Eine Alternative zu den vorgenannten Verfahren stellt das interferometrische Prüfverfahren von Maurer (Maurer, W.: Ein interferometrisches Verfahren zur Bestimmung von Strichverbesserungen an eingebauten Theodolitenkreisen; Dissertation München, 1983) dar. Bei diesem Verfahren wird der  
15 Winkel, um den der zu prüfende Theodolit gedreht wird, aus der Wegdifferenz eines Laserstrahls zu Interferometerreflektoren abgeleitet. Der maximale interferometrisch messbare Winkel beträgt  $\pm 8,5$  gon, die Auflösung wird mit  $0,01$  mgon angegeben. Mit dem interferometrischen Verfahren ist lediglich  
20 eine Prüfung von Horizontalwinkeln möglich. Für die Prüfung von Vertikalwinkeln ist dieses Verfahren ungeeignet, da eine Prismenhalterung verdrehbar mit der Kippachse des Theodoliten verbunden werden müsste, wodurch eine Beeinflussung des Vertikalwinkelabgriffs und der Kippachse aufgrund des  
25 zusätzlichen Gewichts der Prismenhalterung nicht auszuschliessen wäre.

- Prüfverfahren zur Prüfung eines ausgebauten Teilkreises, beispielsweise eines Theodoliten, sind aus dem Stand der  
30 Technik bekannt. Bei diesen Verfahren handelt es sich vornehmlich um Komparierverfahren, bei denen der zu prüfende Winkelabgriff am Teilkreis mit einem entsprechend genauen Winkelnormal, beispielsweise interferometrisch oder mittels eines Präzisionsteilkreises, verglichen wird. Unterschiedliche

## 3

- Vorrichtungen dieser Art, die beispielsweise in der Physikalischen Technischen Bundesanstalt (Prowe, B.: Untersuchungen an einem neuen Teilkreisprüfgerät; Feinwerktechnik & Messtechnik, Heft 5, 1985, S. 213-217) oder am Zentralinstitut für Physik der Erde (Weise, H. & Quart, W.: Eine vollautomatische Messanlage zur Prüfung von Kreisteilungen; Feingerätetechnik, Heft 4, 1975, S. 155-160) eingesetzt werden, oder weitere Vorrichtungen zur Prüfung von Teilkreisteilungen, z.B. aus CH 372847 oder CH 372471, sind aus dem Stand der Technik bekannt. Bei diesen Verfahren und Vorrichtungen ist jedoch keine Winkelabgriffsprüfung eines fertig montierten Theodoliten sondern lediglich die Prüfung eines ausgebauten Teilkreises möglich. Ausserdem sei auf die ISO - Norm 17123-3 (Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments) oder die DIN 18723, Teil 3 (Feldverfahren zur Genauigkeitsuntersuchung geodätischer Instrumente) verwiesen.
- 20 Eine Vorrichtung und eine Verfahren zum vollautomatischen Prüfen und Kalibrieren eines Theodoliten, eines Tachymeters oder einer Totalstation, im Folgenden mit dem Begriff „Theodolit“ zusammengefasst, ist aus dem Stand der Technik bekannt. Diese so genannte Theodolitenprüfmaschine wird
- 25 beispielsweise detailliert in dem Beitrag „TPM - Ein neues Gerät zur vollautomatischen Prüfung von Teilkreisen in elektronischen Theodoliten“ von Hilmar Ingensand zum X. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung an der Technischen Universität München vom 12.-17.9.1988 und in der
- 30 Diplomarbeit „Kalibriereinrichtung für Theodoliten“ von Andreas Rützler, ausgeführt am Institut für allgemeine Elektrotechnik und elektrische Messtechnik der Technischen Universität Graz im Oktober 1991, beschreiben. Die Theodolitenprüfmaschine weist eine Genauigkeit von etwa 0,1

mgon auf und dient beispielsweise zur Prüfung von elektronischen Theodoliten mit einem codierten Teilkreisabgriffssystem, das ohne die sonst bei Inkrementalverfahren notwendige Initialisierung sofort einen Winkel ausgibt, jedoch anstatt einer diametralen Teilkreisabtastung nur einen einzigen Winkelabgriff aufweist. Der hierbei entstehende Fehler durch die mechanische Exzentrizität des Teilkreises ist spezifisch für jeden Theodoliten und kann nach Messung mit der Theodolitenprüfmaschine im elektronischen Theodoliten gespeichert und automatisch korrigiert werden. Die Theodolitenprüfmaschine ermöglicht einen vollautomatischen Prüfablauf, die Prüfung von Horizontal- und Vertikal-Winkelabgriffen in Gebrauchslage im eingebauten Zustand, die Prüfung über einen Grossteil des nutzbaren Messbereichs des Theodoliten, die Analyse der im Prüfvorgang festgestellten systematischen Fehler und die automatische Bestimmung einer Korrekturfunktion, die im Theodoliten abgespeichert wird. Die Theodolitenprüfmaschine ist für unterschiedliche Theodolitenbaureihen geeignet.

Im Folgenden wird diese aus dem Stand der Technik bekannte Theodolitenprüfmaschine unter Zuhilfenahme von Figuren genauer beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 das Komparatorkonzept der aus dem Stand der Technik bekannten Theodolitenprüfmaschine; und

Fig. 2 den Vorrichtungsaufbau der aus dem Stand der Technik bekannten Theodolitenprüfmaschine.

Die bekannte Theodolitenprüfmaschine, die auf dem in Fig. 1 dargestellten Komparatorkonzept basiert, verfolgt den Gedanken eines „Theodoliten im Theodoliten“. Das Achssystem der

## 5

Theodolitenprüfmaschine entspricht somit geometrisch dem des zu prüfenden Theodoliten, so dass ein im Wesentlichen gemeinsames Achssystem mit einer Vertikalachse 101 und einer Horizontalachse 102 entsteht. Der Theodolit ist symbolhaft in Form einer Alhidade 103, die um die Vertikalachse 101 gegenüber einem Unterteil 104 des Theodoliten drehbar ist, und eines um die Horizontalachse 102 kippbaren Fernrohrs 105 mit einer Zielachse 106 dargestellt. Da eine absolute Zentrierung der Achssysteme des zu prüfenden Theodoliten und der Theodolitenprüfmaschine ausgeschlossen ist, werden die Winkelmesssysteme, das Normal der Theodolitenprüfmaschine und der Winkelabgriff des Theodoliten über Autokollimation mittels eines um die Horizontalachse 102 schwenkbaren Autokollimators 107 gekoppelt. Die Kopplung erfolgt mittels eines kollimierten Strahlenbündels 113 über einen auf dem Fernrohr 105 fixierten planen Aufsatzspiegel 108. Da die Theodolitenprüfmaschine sowie der Theodolit die Rechtwinkelbedingung der Achsen (101, 102, 106) erfüllt, sind alle Achssysteme in der Autokollimationseinstellung kollinear. Bedingt durch den Aufbau von Theodoliten ist der Ablauf der Horizontal- und Vertikalprüfung unterschiedlich. Bei der Horizontalprüfung bleibt die Alhidade 103 des zu prüfenden Theodoliten weitgehend fixiert und das Unterteil 104, das mechanisch mit der Winkelnormal verbunden ist, wird um die Vertikalachse 101 gedreht. Nach einer Grobeinstellung des Prüfwinkels durch Drehen des Unterteils 104 des Theodoliten gegenüber der weitgehend unbewegten Alhidade 103 erfolgt ein Feineinstellen des Prüfwinkels über Autokollimation, indem das Unterteil 104 und die Alhidade 103 gemeinsam hochpräzise gedreht werden und gegebenenfalls der Autokollimator 107 geringfügig geschwenkt wird, wodurch der Theodolit und das Normal in Referenz gebracht werden. Die Horizontalpositionen werden durch einen höchstpräzisen Horizontalabgriff 109 der Theodolitenprüfmaschine und einen Horizontalabgriff 110 des

Theodoliten erfasst und verglichen. Die Vertikalprüfung erfolgt, indem der Autokollimator 107 in der gemeinsamen Vertikalebene um die Horizontalachse 102 und somit um den zu prüfenden Theodoliten geschwenkt wird. Dabei wird das Fernrohr 105 des Theodoliten um den vorgegebenen Winkel grob mitgedreht. Nach der anschliessenden Autokollimationseinstellung werden die Vertikalposition des Autokollimators 107 durch einen höchstpräzisen Vertikalabgriff 111 der Theodolitenprüfmaschine und die Vertikalposition des Fernrohrs 105 durch einen Vertikalabgriff 112 des Theodoliten erfasst und verglichen.

Fig. 2 zeigt den Vorrichtungsaufbau der bekannten Theodolitenprüfmaschine mit einer Vertikalachse 121 und einer Horizontalachse 122. Der Aufbau ist bezüglich der Stabilitätsanforderungen im  $\mu$ -Bereich dem einer 3-D Koordinatenmessmaschine gleichzusetzen, weshalb als Aufnahme der Achssysteme ein Granitrahmen 123 verwendet wird. Die gesamte Maschine ruht auf einem Betonfundament (nicht dargestellt) und ist in einem klimatisierten Raum aufgestellt. Auf einer Grundplatte 123' des Granitrahmens 123 ist ein, einem Präzisionsdrehtisch ähnliches Horizontalmessteil 124, das über Wälzlager 125 gelagert und mittels eines Horizontalantriebs 126 um die Vertikalachse 121 drehbar ist, befestigt. Das Horizontalmessteil 124 besitzt ausserdem einen Horizontalwinkelsensor 127. Auf dem Horizontalmessteil 124 ist ein Dreifuss 129 zur Aufnahme eines zu prüfenden Theodoliten 130 montiert. Die elektrische Verbindung für den aufgesetzten Theodoliten 130 erfolgt über ein Schleifringsystem (nicht dargestellt). Ein Vertikalmessteil 131 weist eine um die Horizontalachse 122 schwenkbare, über einen Vertikalantrieb 132 antreibbare, einen Vertikalwinkelsensor 133 aufweisende Messbrücke 134 auf, die einen elektronischen Autokollimator 135 trägt. An der Messbrücke 134 ist ausserdem ein



gabelförmiger Mitnehmer 136 angeordnet, der als Anschlag für ein Fernrohr 137 des Theodoliten 130 dient. Somit folgt die vertikale Position des Fernrohres 137 weitgehend der des Autokollimators 135. Da der Mitnehmer 136 jedoch ein Spiel  
5 gegenüber dem Fernrohr 137 aufweist, sind der Mitnehmer 136 und das Fernrohr 137 bei Feinverstellung der Messbrücke 134 entkoppelt. In gleicher Weise dient der Mitnehmer 136 als Anschlag bei horizontaler Verstellung über das Horizontalmessteil 124. Die Stabilität der schweren Messbrücke  
10 134 ist kritisch, da besonders in horizontaler Position hohe, die Messung eventuell verfälschende Biegemomente auf die Struktur der Messbrücke 134 wirken. Die U-förmige Messbrücke 134 ist beidseitig am Granitrahmen 123 über, als vorgespannte Kugelbuchsenlager ausgebildete Kippachslager 138 um die  
15 Horizontalachse 122 drehbar gelagert. Um diese Kippachslager 138 von radialen Kräften durch das über 12 kg betragende Eigengewicht der Messbrücke 134 und des elektronischen Autokollimators 135 zu entlasten, verfügt die Maschine über ein zusätzliches Gewichtskompensationssystem. Die gesamte  
20 Messbrücke 134 wird von einem äusseren Tragrahmen 139, der zugleich auch Gegengewichte 140 trägt und die Antriebskräfte aufnimmt, im Schwerpunkt unterstützt. Dieser Tragrahmen 139 dreht sich in eigenen separaten Tragrahmenlagern 141. Die Autokollimationseinstellung erfolgt, indem der Autokollimator  
25 135 der Theodolitenprüfmaschine einen kollimierten Lichtstrahl auf einen planen Aufsatzspiegel 142 projiziert, der auf dem Fernrohr 137 des Theodoliten 130 normal zur Richtung der Zielachse des Fernrohres 137 aufgesetzt ist. Die Befestigung des Aufsatzspiegels 142 auf dem Fernrohr 137 erfolgt durch  
30 eine Spannzange (nicht dargestellt). Damit ist es möglich, den Aufsatzspiegel 142 weitgehend normal zur optischen Achse des Fernrohres 137 und somit zur Zielachse zu montieren. Der Aufsatzspiegel 142 reflektiert den kollimierten Lichtstrahl in den Autokollimator 135 der Theodolitenprüfmaschine zurück. Der

Lichtstrahl trifft im Brennpunkt des Autokollimators 135 auf einen Positionsdetektor (nicht dargestellt), der als eine Quadrantendiode ausgebildet ist, und erzeugt dort einen Lichtfleck. Die Auflösung des Autokollimators 135 beträgt etwa 0,01 mgon. Durch den Horizontalantrieb 126 und den Vertikaltrieb 132, die pulsbreitenmoduliert angesteuerbare 15 V DC Motoren besitzen, wird das Horizontalmessteil 124 mit dem Theodoliten 130 bzw. die Messbrücke 134 mit dem Autokollimator 135 präzise bewegt, bis sich der Lichtfleck in der Mitte des Positionsdetektors des Autokollimators 135 befindet. Zusätzlich ermöglicht eine mechanische Grob-Feinuntersetzung (nicht dargestellt) im Verhältnis 1:9 die erforderliche Feinstpositionierung des Regelkreises, der den elektronischen Autokollimator 135, einen Rechner (nicht dargestellt) inklusive Regelungssoftware und die mechanischen Antriebe 126 und 132 umfasst. Die Achssysteme des Theodoliten 130 und der Theodolitenprüfmaschine sind somit nach der Autokollimationseinstellung im Wesentlichen kollinear. Der Rechner übernimmt die Steuerung des Messablaufs, die Regelung der Zieleinstellung und die Auswertung der Messergebnisse.

Der Verfahrensablauf des Vertikal- und Horizontalmessvorgang wird im Folgenden beschrieben. Die Messbrücke 134 wird vor dem Aufsetzen des zu prüfenden Theodoliten 130 in eine etwa horizontale Lage gebracht, sodass sich der Autokollimator 135 ungefähr in der Vertikalposition 100 gon, gemessen vom Zenit, auf den die Vertikalachse 121 weist, befindet. Der Theodolit 130 wird auf dem Dreifuss 129 des Horizontalmessteils 124 mit in Lotrichtung weisender Stehachse fixiert, so dass die Stehachse des Theodoliten 130 und die Vertikalachse 121 der Theodolitenprüfmaschine möglichst zusammenfallen, mindestens jedoch kollinear sind. Der plane Aufsatzspiegel 142 wird auf dem Objektiv des Fernrohrs 137 des Theodoliten 130 durch die Spannzange fixiert. Das Fernrohr 137 wird in den gabelförmigen

## 9

Mitnehmer 136 der Messbrücke 134 eingeschwenkt. Zu Beginn der Messung bewegt sich die Messbrücke 134 auf die vom Zenit aus gemessene Vertikalposition 260 gon, den Beginn des vertikalen Messbereichs. Der Mitnehmer 136 nimmt bei dieser Bewegung das Fernrohr 137 des Theodoliten 130 mit. Durch die darauf folgende Autokollimationseinstellung wird der Autokollimator 135 durch präzises Einstellen der Messbrücke 134 und des Horizontalmessteils 124 auf den am Fernrohr 137 fixierten Aufsatzspiegel 142 ausgerichtet. Aufgrund des Spiels zwischen Mitnehmer 136 und Fernrohr 137 wird das Fernrohr 137 während der Autokollimationseinstellung nicht vom Mitnehmer 136 verstellt. Nach dieser Autokollimationseinstellung werden die Winkelwerte des Theodoliten 130 und die der Theodolitenprüfmaschine vom Rechner abgefragt und gespeichert. Die Differenz der Vertikalwinkel ist der Fehler des Theodoliten 130 für die jeweilige Vertikalposition, hier 260 gon. Die Messung des ersten Messpunktes ist hiermit beendet. Für die Messung des nächsten Messpunktes bewegt der Vertikalantrieb 132 der Theodolitenprüfmaschine die Messbrücke 134 und über den Mitnehmer 136 auch das Fernrohr 137 des Theodoliten 130 um etwa 15 gon auf die Vertikalposition 275 gon. Nun beginnt die Messung des zweiten Punktes nach dem oben beschriebenen Schema. Auf diese Art werden Vertikalmessungen bis zur Vertikalposition 140 gon durchgeführt, wobei der Bereich von 380 bis 20 gon nahe des Zenits ausgelassen wird, da in diesem Bereich ein eventueller Versatz der Prüflings- und der Theodolitenprüfmaschinen-Achsen kaum oder nicht durch den Horizontalantrieb 126 der Theodolitenprüfmaschine korrigiert werden kann. Denn die horizontale Bewegung des Lichtflecks auf dem Positionsdetektor des Autokollimators 135 im Verhältnis zu dem Vertikaldrehwinkel ist mit dem Tangens des Winkels zwischen der horizontalen Lage und der tatsächlichen Lage der Messbrücke 134 verknüpft. Nach Abschluss der Vertikalprüfung wird die Messbrücke 134 in die

## 10

Vertikalposition 100 gon bewegt und es wird mit der Untersuchung des Horizontalwinkelabgriffs des Theodoliten 130 begonnen. Über das Horizontalmessteil 124 wird der Theodolit 130 in eine Richtung gedreht, wobei sich das Unterteil 143 und  
5 die Alhidade 144 des Theodoliten 130 gemeinsam bewegen, bis das Fernrohr 137 des Theodoliten 130 an den Anschlag des gabelförmigen Mitnehmers 136 stösst und festgehalten wird, wodurch die Alhidade 144 stoppt und nur das Unterteil 143 weiterbewegt wird. Ist die gewünschte horizontale  
10 Winkelposition des Theodoliten 130 erreicht, wird das Horizontalmessteil 124 geringfügig in die Gegenrichtung gedreht, wodurch sich das Fernrohr 137 vom Mitnehmer 136 wegdreht und somit bei der Autokollimationseinstellung kein mechanischer Anschlag den Einregelvorgang behindert. Nach der  
15 Autokollimationseinstellung erfolgt die Aufnahme der Messwerte analog zu der Vertikalmessung. Bei der Horizontaluntersuchung werden über den Umfang gleichmässig verteilt etwa 35 Punkte gemessen. Nach Abschluss des gesamten Horizontal- und Vertikalprüfvorganges werden die gespeicherten Winkelpaare  
20 ausgewertet.

Diese bekannte Theodolitenprüfmaschine weist zahlreiche Nachteile und Probleme auf, die bisher nicht hinreichend gelöst werden konnten. Da die den Autokollimator tragende  
25 Messbrücke vor allem in horizontaler Position hohen Biegemomenten durch das Eigengewicht und das Gewicht des Autokollimators ausgesetzt ist, muss die Messbrücke einen stabilen Aufbau aufweisen, damit eine die Messung verfälschende Verformung der Messbrücke möglichst vermieden  
30 wird. Jedoch sollte das Gewicht der Messbrücke nicht zu hoch sein, da im Rahmen der vorgegebenen Toleranzen die Tragfähigkeit der hochpräzisen Kippachslagerung, welche die Messbrücke am Granitrahmen lagert, stark beschränkt ist. Aus statischen Gründen, insbesondere um Verformungen zu vermeiden

und die Kippachslagerung möglichst wenig zu belasten, erscheint eine U-Form mit beidseitiger Kippachslagerung als vorteilhaft, die wiederum einen zweisäuligen Granitrahmen verlangt. Das hohe Gewicht der Messbrücke erfordert zudem

5 aufgrund der beschränkten Tragfähigkeit der als vorgespannte Kugelbuchsenlager ausgebildeten Kippachslager ein aufwendiges Gewichtskompensationssystem, welches das Gesamtgewicht der Theodolitenprüfmaschine weiter erhöht. Der aufgrund der beidseitigen Kippachslagerung erforderliche, die Messbrücke

10 umgebende, massive Granitrahmen, die U-Form der Messbrücke und das Gewichtskompensationssystem schränken die Zugänglichkeit zum zu prüfenden Theodoliten stark ein, was insbesondere bei Justierarbeiten und grossen Prüflingen hinderlich ist. Der massive Aufbau und das Gewicht der bekannten

15 Theodolitenprüfmaschine verhindern eine breite Einsatzmöglichkeit, da einerseits Belastungstoleranzen von normalen Industrieböden überschritten werden, andererseits die Theodolitenprüfmaschine nicht durch eine normale Labortüre transportiert werden kann. Wegen der beidseitigen Anordnung

20 der Kippachslager ist aufgrund von statischer Überbestimmtheit ein spannungsfreies, exaktes Justieren der einzelnen Kippachslager höchst problematisch, da ein Verstellen eines Kippachslagers sich auch stets auf das gegenüberliegende Kippachslager auswirkt, womit die hohen

25 Präzisionsanforderungen nur mit grossem Justieraufwand erfüllt werden können. Auch die stabile Montage des Aufsatzspiegels auf dem Fernrohr ist kritisch, da Abweichungen von der Spiegelebene zur Zielachse möglichst zu vermeiden sind und eine exakte Ausrichtung des Aufsatzspiegels einen grossen

30 Aufwand bedarf. Unterschiedliche Fernrohrgeometrien und Theodolitenbaureihen erfordern unterschiedliche Aufsatzspiegel-Spannzangen. Da die Referenzstruktur für den gesamten Messablauf von dem Aufsatzspiegel gebildet wird, kann lediglich eine Überprüfung der Winkelsensoren und der Achsen

des Theodoliten erfolgen. Fehler in der Fernrohr-Optik bleiben somit unberücksichtigt. Die Entwicklung neuer und noch präziserer Theodoliten verlangt zudem nach einer noch höheren Genauigkeit der Theodolitenprüfmaschine.

5

Die Forderung nach einerseits einem kompakteren Aufbau der Prüfvorrichtung, einer besseren Zugänglichkeit des zu prüfenden Theodoliten, einer breiteren Verwendungsvielfalt und einer einfacheren Justiermöglichkeit der Prüfvorrichtung, andererseits einer noch höheren Messgenauigkeit stellt somit einen Zielkonflikt dar, der bisher nicht hinreichend gelöst werden konnte.

10

Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein zuverlässiges, stabiles und in der Durchführung einfaches Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung eines hochpräzisen Prüflings mittels einer möglichst kompakten, einfach justierbaren, hochgenauen Vorrichtung zu ermöglichen, deren Aufbau eine gute Zugänglichkeit zum Prüfling zulässt, und Nachteile der gattungsgemässen Theodolitenprüfmaschine zu beheben.

15

20

Diese Aufgabe oder zumindest ein Teil dieser Aufgabe wird durch die Verwirklichung der Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Merkmale, die die Erfindung in alternativer oder vorteilhafter Weise weiterbilden, sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

25

Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, dass sowohl mit einer einseitigen oder mittigen Lageranordnung, als auch durch ein direktes Messen an einer Referenzstruktur des Prüflings wesentliche Verbesserungen gegenüber dem Stand der Technik erzielt werden können.

30

Im Folgenden werden die erfindungsgemässe Vorrichtung und das erfindungsgemässe Verfahren allgemein beschrieben. Mögliche konkrete beispielhafte Ausführungsformen sind im Anschluss den Figuren und der Figurenbeschreibung zu entnehmen.

5

Die Vorrichtung zum Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung einer Referenzstruktur eines hochpräzisen Prüflings weist einen Sockel als stabile Bezugsbasis für den Prüf- oder Kalibriervorgang auf. Dieser Sockel ist als ein Steinkörper, Metallkörper oder als ein, aus mindestens einem anderen geeigneten Material gefertigter oder - beispielsweise aus Streben - zusammengesetzter Körper, der als Bezugsbasis dient, ausgebildet. Der Sockel weist beispielsweise eine L-förmige Grundstruktur auf. Ein Aufnahmeteil zur Aufnahme des Prüflings ist gegenüber dem Sockel um eine - insbesondere in Lotrichtung verlaufende - Aufnahmeteil-Achse über ein Hochpräzisionslager drehbar gelagert. Das Aufnahmeteil ist beispielsweise als Präzisionsdrehtisch mit einer - gegebenenfalls mittels eines Dreifusses einstellbaren - Halterung zum Halten des Prüflings ausbildbar. Ein Verdrehwinkel des Aufnahmeteils gegenüber dem Sockel um die Aufnahmeteil-Achse, im Folgenden mit „Aufnahmeteil-Verdrehwinkel“ bezeichnet, ist z.B. mittels eines Winkel-Encoders mit dynamischem oder statischem Winkelabgriff hochpräzise messbar. Sofern eine exakte absolute vertikale Ausrichtung des Aufnahmeteils oder der Halterung zum Prüfen oder Kalibrieren erforderlich ist, ist es weiters möglich, einen Neigungssensor in das Aufnahmeteil zu integrieren. Bei elektronischen Prüflingen, die eine Spannungsversorgung benötigen oder Messwerte übertragen, ist das drehbar gelagerte Aufnahmeteil ausserdem gegebenenfalls mit Mitteln zur elektrischen Verbindung, beispielsweise einem Schleifring- oder Rollringsystem, ausgestattet, um eine elektrische Verbindung zwischen dem Sockel und dem Prüfling zu

ermöglichen. Selbstverständlich können stattdessen auch Funkübertragungssysteme - beispielsweise Bluetooth -, Infrarotsysteme oder dergleichen Systeme eingesetzt werden.

- 5 Die Vorrichtung umfasst ausserdem ein Messteil, das gegenüber dem Sockel um eine die Aufnahmeteil-Achse rechtwinklig schneidende Messteil-Achse drehbar gelagert ist. Dabei ist ein Messteil-Verdrehwinkel um die Messteilachse z.B. mittels eines Winkel-Encoders mit dynamischem oder statischem Winkelabgriff
- 10 hochpräzise messbar. Auf dem Messteil ist eine Optikeinheit mit einem optischen Detektor angeordnet. Die Optikeinheit dient zum Empfangen mindestens eines mit der Referenzstruktur des Prüflings in Wechselwirkung stehenden Prüflings-Strahlenbündels, das im Wesentlichen in einer von der
- 15 Messteil-Achse senkrecht durchstossenen Messebene, in der die Aufnahmeteil-Achse liegt, verläuft. Hierdurch erzeugt das Prüflings-Strahlenbündel mindestens einen Punkt auf dem Detektor. Dabei kann das Prüflings-Strahlenbündel entweder direkt, eventuell geformt durch ein Linsensystem, auf den
- 20 Detektor treffen, oder über ein optisches Umlenkelement, beispielsweise eine Spiegelungseinheit oder einen Lichtleiter, in Richtung der Optikeinheit und des Detektors umgelenkt oder geleitet werden und indirekt auf den Detektor treffen. Bei Einsatz eines solchen optischen Umlenkelements ist es möglich,
- 25 die Optikeinheit ausserhalb der Messebene, eventuell auf einem Teilelement des Messteils, anzuordnen. Unter dem mit der Referenzstruktur des Prüflings in Wechselwirkung stehenden Prüflings-Strahlenbündel ist allgemein ein Strahlenbündel, beispielsweise ein Lichtstrahlenbündel, zu verstehen, das
- 30 direkt oder indirekt in einer Wechselwirkung mit mindestens einer Referenzstruktur des Prüflings oder mindestens einem mit einer Referenzstruktur des Prüflings in Verbindung stehenden, eventuell am Prüfling montierten, beispielsweise von einem Aufsatzspiegel gebildeten Teil steht und/oder von einem



solchen Teil kommt. Somit muss das Prüflings-Strahlenbündel nicht direkt von dieser Referenzstruktur des Prüflings kommen, sondern kann auch von einer an der Referenzstruktur des Prüflings zur Durchführung des Messvorgangs montierten Hilfskomponente herrühren. Die Wechselwirkung zwischen dem Prüflings-Strahlenbündel und der Referenzstruktur oder dem mit der Referenzstruktur in Verbindung stehenden Teil erfolgt beispielsweise durch Reflexion, Streuung, Brechung, Strahlformung, Abblendung, Filterung oder Strahlerzeugung.

10

Mit dem Begriff „Prüfling“ ist ein zu prüfendes oder justierendes Element als Ganzes gemeint, beispielsweise ein geodätisches Messinstrument, eine polygonale Spiegeleinheit oder ein mechanisches Hochpräzisionsteil, ohne allfällige zur Durchführung des Messvorgangs montierte Hilfskomponenten wie beispielsweise ein Aufsatzspiegel. Mit der Referenzstruktur ist eine Struktur des Prüflings gemeint, die konkret bezüglich der Winkelausrichtung zu prüfen ist. Dies kann beispielsweise eine Fläche, eine Kante oder ein Punkt sein. Bei einem Prüfling mit einer gegenüber einer Grundfläche exakt auszurichtenden oder ausgerichteten Spiegelfläche wird die Referenzstruktur beispielsweise durch diese Spiegelfläche gebildet. Bei einem als Theodoliten ausgebildeten Prüfling stellt die Referenzstruktur beispielsweise ein Teil des horizontal und vertikal dreh- bzw. kippbaren Fernrohrs dar.

20

25

Sowohl das Aufnahmeteil, als auch das Messteil sind vorzugsweise elektromotorisch antreibbar. Somit bildet der Empfangsbereich der Optikeinheit, bezogen auf den Prüfling, - durch Verstellen von Aufnahmeteil und Messteil um die Aufnahmeteil-Achse bzw. die Messteil-Achse - einen den Prüfling zumindest teilweise umschliessenden Abschnitt einer Kugeloberfläche. Sofern die Aufnahmeteil-Achse in Lotrichtung weist und somit die Messteil-Achse in der Horizontalebene

30

liegt, kann über das Aufnahmeteil ein Horizontalwinkel und über das Messteil ein Vertikalwinkel verstellt werden.

Die drehbare Lagerung des Messteils gegenüber dem Sockel erfolgt mittels einer Messteil-Lagereinheit, die als ein Luftlager ausgebildet ist, das auf einer einzigen Seite der Messebene oder in der Messebene angeordnet ist. Da nur eine Lagereinheit zum Einsatz kommt, kann diese Lagereinheit hochpräzise justiert werden, ohne dass es aufgrund von statischer Überbestimmtheit zu Verspannungen mit einer zweiten, auf der anderen Seite der Messebene bzw. ausserhalb der Messebene angeordneten Lagereinheit kommt. Hierdurch ist es möglich, aussergewöhnlich hohe Messgenauigkeiten zu erreichen. Aufgrund der einseitigen, auf einer einzigen Seite der Messebene liegenden oder mittigen, in der Messebene liegenden Anordnung der Lagereinheit ist es möglich, einen kompakteren Aufbau der gesamten Messvorrichtung zu realisieren und eine wesentlich bessere Zugänglichkeit zum Prüfling zu schaffen, wobei aufgrund der Eigenschaften eines Luftlagers die Messgenauigkeit der gesamten Vorrichtung sogar noch erhöht wird. Unterschiedliche Ausbildungen von radialen und axialen Luftlagern, Zylinder-, U-, Winkel- oder Plan-Luftlagern sind mittlerweile aus dem Stand der Technik bekannt. Das Luftlager muss dermassen beschaffen sein, dass eine hochpräzise Lagerung des Messteils um die Messteil-Achse unter Berücksichtigung der geforderten Toleranzen der Vorrichtung bei den auf das Lager wirkenden Kräfte gewährleistet ist und sowohl die Steifigkeit, als auch die Dämpfung den Anforderungen entspricht. Die Auslegungskriterien von Luftlagern sind ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt. Unter der als Luftlager ausgebildeten Lagereinheit ist sowohl ein Einzellager, als auch eine Anordnung mehrerer - insbesondere verspannter - Lager in Form einer Lagereinheit zu verstehen.

Ausserdem ist es möglich, auch das Hochpräzisionslager des Aufnahmeteils als ein Luftlager auszubilden.

Gegebenenfalls ist das Messteil so ausgebildet, dass ausser  
5 der Optikeinheit auf derjenigen Seite des Messteils, die der  
Optikeinheit bezüglich der Messteil-Achse gegenüber liegt,  
eine Zusatzoptikeinheit angeordnet ist. Diese  
Zusatzoptikeinheit ist z.B. als ein Zusatz-Emitter oder ein  
Zusatz-Spiegel ausbildbar. Mögliche Ausführungsformen des  
10 erfindungsgemässen Messteils sind der Beschreibung der Figuren  
zu entnehmen.

Eine Steuerungs-Regelungs-Einheit übernimmt die Steuerung der  
Vorrichtung, insbesondere das motorische Ausrichten der  
15 Optikeinheit gegenüber der Referenzstruktur des Prüflings  
mittels motorischem Einstellen des Aufnahmeteils und des  
Messteils in Abhängigkeit von der Lage des mindestens einen  
vom Prüflings-Strahlenbündel hervorgerufenen Punktes auf dem  
Detektor. Gegebenenfalls werden erfasste Messdaten,  
20 insbesondere die der Winkel-Encoder, gespeichert und/oder  
ausgewertet. Die Steuerungs-Regelungs-Einheit ist  
beispielsweise als ein Personalcomputer mit entsprechenden  
Schnittstellen, ein Verbund von Steuerungen oder intelligenten  
Sensoren und Aktoren, eine SPS oder ein mit einem Datennetz  
25 verbundenes Rechnersystem ausbildbar.

Vor allem bei Prüflingen, deren bezüglich Ihrer  
Winkelausrichtung zu prüfende oder kalibrierende  
Referenzstruktur gegenüber dem restlichen Prüfling verstellbar  
30 ist, wie dies beispielsweise bei einem Theodoliten, dessen  
Winkel-Encoder zu prüfen sind, der Fall ist, kommt zum  
Verstellen der Referenzstruktur, beispielsweise des  
Theodoliten-Fernrohrs, ein Handhabungsroboter, der z.B. auf  
dem Sockel angeordnet ist, zum Einsatz. Somit ist es möglich,

die Referenzstruktur und die Optikeinheit des Messteils simultan zu verstellen und Winkelabweichungen - insbesondere eines Winkel-Encoders des Prüflings - innerhalb einer kurzen Prüfzeit zu ermitteln.

5

Weitere Verbesserungen können durch die Anwendung des erfindungsgemässen Verfahrens erzielt werden, bei welchem eine Strahlung von der Referenzstruktur des Prüflings erzeugt oder  
10 bezüglich eines Strahlungsparameters - insbesondere durch Reflexion, Abblendung, Filterung oder Formung - verändert wird. Diese erzeugte oder veränderte Strahlung bildet das oben beschriebene Prüflings-Strahlenbündel.

15 Zur Durchführung des Verfahrens ist es entweder möglich, im Wesentlichen die oben beschriebene Vorrichtung zu verwenden, oder es kommt allgemein folgende Vorrichtung zum Einsatz:

Die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen  
20 Verfahrens weist ein verstellbares oder fixiertes Aufnahmeteil zur Aufnahme des Prüflings und ein verstellbares Messteil auf, wobei das Messteil und das Aufnahmeteil relativ zueinander um eine Aufnahmeteil-Achse und eine die Aufnahmeteil-Achse rechtwinklig schneidende Messteil-Achse drehbar sind. Ein  
25 Aufnahmeteil-Verdrehwinkel um die Aufnahmeteil-Achse und ein Messteil-Verdrehwinkel um die Messteil-Achse sind zwischen dem Messteil und dem Aufnahmeteil messbar. Die Vorrichtung besitzt weiters eine auf dem Messteil angeordnete Optikeinheit mit einem optischen Detektor zum Empfangen mindestens eines mit  
30 dem Prüfling in Wechselwirkung stehenden Prüflings-Strahlenbündels, das im Wesentlichen in einer von der Messteil-Achse senkrecht durchstossenen Messebene, in der die Aufnahmeteil-Achse liegt, verläuft und auf dem Detektor mindestens einen Punkt erzeugt. Selbstverständlich ist es

möglich, dass die Optikeinheit mit dem Detektor nicht direkt auf dem Messteil angeordnet ist, sondern auf einem anderen Teil, wobei auf dem Messteil Mittel zur Umlenkung des Prüflings-Strahlenbündels zum Detektor vorgesehen sind.

- 5 Ausserdem umfasst die Vorrichtung eine Steuerungs-Regelungs-Einheit zumindest zum motorischen Ausrichten der Optikeinheit gegenüber der Referenzstruktur des Prüflings mittels motorischem Einstellen des Aufnahmeteil-Verdrehwinkels und des Messteil-Verdrehwinkels in Abhängigkeit von der Lage des
- 10 mindestens einen Punktes auf dem Detektor. Für eine genauere Beschreibung der Einzelelemente dieser Vorrichtung sei hiermit auf die Beschreibung der bekannten Theodolitenprüfmaschine und der erfindungsgemässen, oben beschriebenen Vorrichtung verwiesen. Selbstverständlich kann das beschriebenen Verfahren
- 15 auch mit einer anders aufgebauten, jedoch im Wesentlichen äquivalenten Vorrichtung zur Anwendung kommen.

- Bei dem Verfahren wird zunächst der Prüfling auf dem Aufnahmeteil angeordnet. Anschliessend folgt ein Vor-
- 20 Ausrichten der Optikeinheit und/oder der Referenzstruktur des Prüflings, so dass das Prüflings-Strahlenbündel zumindest teilweise auf den Detektor trifft und dort den mindestens einen Punkt erzeugt. Nach dem Auswerten der Lage dieses mindestens einen Punktes auf dem Detektor, insbesondere durch
- 25 die Steuerungs-Regelungs-Einheit, erfolgt ein Fein-Ausrichten der Optikeinheit gegenüber der Referenzstruktur über die Steuerungs-Regelungs-Einheit in Abhängigkeit von der Lage des mindestens einen Punktes auf dem Detektor, so dass der mindestens eine Punkt eine bestimmte Solllage erreicht.
- 30 Daraufhin folgt ein Erfassen zumindest des Aufnahmeteil-Verdrehwinkels und/oder des Messteil-Verdrehwinkels. Das genannte Prüflings-Strahlenbündel wird von einer Strahlung gebildet, die von der Referenzstruktur des Prüflings erzeugt oder von dieser bezüglich eines Strahlungsparameters,

beispielsweise durch Reflexion, Streuung, Brechung, Abblendung, Filterung oder Formung, verändert wird. Die Erzeugung der Strahlung erfolgt über einen Emitter, der beispielsweise als Temperatur- oder Lumineszenzstrahler, als chemischer oder radioaktiver Strahler ausgebildet ist. Da das Prüflings-Strahlenbündel, das auf den Detektor trifft, somit direkt oder indirekt von der Referenzstruktur des Prüflings kommt und nicht von einer Hilfskomponente wie beispielsweise einem Vorsatzspiegel herrührt, kann die Referenzstruktur höchst präzise gegenüber der Optikeinheit - bzw. umgekehrt - ausgerichtet werden, da Fehler durch eine mangelhafte Ausrichtung der Hilfskomponente gegenüber der Referenzstruktur vermieden werden. Ausserdem ist es möglich, Referenzstrukturen - beispielsweise in Form einer beleuchteten oder selbst leuchtenden Marke - zu wählen, die mechanisch nur schwierig koppelbar sind, insbesondere Komponenten, die optisch detektierbar innerhalb eines Linsensystems angeordnet sind. Dies sind beispielsweise Linsen oder Strichplatten innerhalb eines Linsensystems.

20

Dieses Verfahren eignet sich unter anderem zum Prüfen oder Kalibrieren eines mit einer optischen Zieleinheit - insbesondere einem Fernrohr - ausgestatteten Prüflings, vorzugsweise einen Theodoliten, einen Nivellier oder einen geodätischen Scanner, wobei die optische Zieleinheit um eine Stehachse und gegebenenfalls eine Kippachse verstellbar ist. Ein Stehachs-Verdrehwinkel und gegebenenfalls ein Kippachs-Verdrehwinkel sind hierbei erfassbar. Die optische Zieleinheit bestimmt eine Zielachse und weist eine optisch detektierbare Marke, beispielsweise eine Strichplatte oder einen Leuchtaustritt, auf. Ein Prüflings-Unterteil ist auf dem Aufnahmeteil so angeordnet, dass die Aufnahmeteil-Achse gegenüber der Stehachse und gegebenenfalls die Messteil-Achse gegenüber der Kippachse im Wesentlichen kollinear verlaufen.

Vor, während oder nach dem oben erwähnten Vor-Ausrichten der Optikeinheit erfolgt ein Vor-Ausrichten der Zieleinheit des Prüflings. Durch Erfassen des Stehachs-Verdrehwinkels und/oder gegebenenfalls des Kippachs-Verdrehwinkels des Prüflings kann  
5 mittels Vergleichen mit dem Aufnahmeteil-Verdrehwinkel bzw. dem Messteil-Verdrehwinkel der Vorrichtung das Prüfen oder Kalibrieren des Prüflings erfolgen.

Die Strahlung wird in einer möglichen allgemeinen  
10 Ausführungsform von einem in der Optikeinheit angeordneten Emitter erzeugt. Die Optikeinheit weist hierbei neben dem Emitter einen Detektor und ein Linsensystem zum Formen der vom Emitter ausgesandten Strahlung und zum Fokussieren des Prüflings-Strahlenbündels auf den Detektor auf. Dabei fällt  
15 die geformte Strahlung auf eine bezüglich der Ausrichtung zu prüfende Reflexionsfläche, die von der Referenzstruktur des Prüflings gebildet wird, und wird von dieser reflektiert. Die von der Referenzstruktur reflektierte Strahlung bildet das Prüflings-Strahlenbündel, das bei entsprechender Ausrichtung  
20 der Referenzstruktur gegenüber der Optikeinheit von dem Linsensystem geformt wird, somit zumindest teilweise auf den Detektor trifft und bei exakter Ausrichtung mindestens einen Punkt auf einer bestimmten Solllage auf dem Detektor erzeugt. Die reflektierende Referenzstruktur wird eventuell - sofern  
25 erforderlich - mit einer reflexionsverstärkenden Beschichtung oder Folie beschichtet. Als Emitter wird beispielsweise eine LED eingesetzt, deren Strahlung über einen Lichtwellenleiter in die Brennebene des Linsensystems eingespeist wird. Als Detektor ist eine Quadrantendiode, ein CCD Bildsensor oder ein  
30 anderer aus dem Stand der Technik bekannter Detektor verwendbar. Handelt es sich bei der als Reflexionsfläche dienenden Referenzstruktur um eine ebene Fläche, wird die vom Emitter ausgesandte Strahlung vom Linsensystem der Optikeinheit vorzugsweise kollimiert, so dass das Prüflings-

Strahlenbündel ebenfalls kollimiert ist. Bei einer konvexen oder konkaven Referenzstruktur; die beispielsweise von einer Linsenoberfläche des Prüflings gebildet wird, wird die Strahlung vom Linsensystem der Optikeinheit hingegen

5 entsprechend der Wölbung, insbesondere des Radius, geformt, insbesondere fokussiert oder gestreut. Soll eine antireflexionsbeschichtete Linse als Referenzstruktur dienen, ist der Einsatz von zusätzlichen optischen Filtern im Strahlengang der Strahlung vorteilhaft. Handelt es sich bei

10 der Referenzstruktur um eine Linse innerhalb eines Linsensystems, beispielsweise eine bestimmte Linse innerhalb einer Zieleinheit, kann ebenfalls der Einsatz von optischen Filtern zweckdienlich sein.

15 Ebenfalls ist es möglich, dass die Referenzstruktur durch eine optisch detektierbare Marke am Prüfling oder innerhalb des Prüflings gebildet wird, wie beispielsweise eine Strichplatte in der Optik der Zieleinheit des Prüflings, wobei die Strahlung bezüglich eines Strahlungsparameters verändert wird.

20 Dies geschieht beispielsweise, indem eine Stichplatte seitens des Objektivs oder des Okulars der optischen Zieleinheit des Prüflings durch einen Emitter - gegebenenfalls unter Einsatz optischer Filter - zumindest während des Fein-Ausrichtens der Vorrichtung beleuchtet wird, wobei diese Beleuchtung die

25 Strahlung bildet. Hierbei wird die Strichplatte über das Objektiv der Zieleinheit auf den Detektor der Optikeinheit abgebildet, wodurch der mindestens eine Punkt auf dem Detektor erzeugt wird. Der Emitter kann hierbei entweder ebenfalls in der Optikeinheit oder separat untergebracht sein,

30 beispielsweise in einer Zusatzoptikeinheit, die sich auf derjenigen, der Optikeinheit bezüglich der Messteil-Achse gegenüberliegenden Seite des Messteils befindet.



Weiters ist es realisierbar, auf einen Emitter ausserhalb der optischen Zieleinheit des Prüflings zu verzichten. Dies kann vor allem dann geschehen, wenn die Strichplatte selbstleuchtend ist, so dass die Strichplatte selbst die Strahlung erzeugt, oder wenn die Strichplatte durch einen in der optischen Zieleinheit angeordneten Emitter beleuchtet wird. Die Abbildung der Strichplatte auf den Detektor erfolgt vorzugsweise über das Objektiv, oder über das Okular. Selbstleuchtende Strichplatten, z.B. in Form eines Lumineszenzstrahlers, sind aus dem Stand der Technik bekannt.

Ausserdem können Fehler innerhalb des optischen Systems der Zieleinheit festgestellt werden, indem über einen seitens des Okulars oder des Objektivs der Zieleinheit des Prüflings angeordneten Emitter eine Struktur mindestens eines Teils der Zieleinheit auf den Detektor abgebildet wird.

Im Folgenden werden die erfindungsgemässe Vorrichtung und das erfindungsgemässe Verfahren rein beispielhaft in Form von konkreten Ausführungsbeispielen unter Zuhilfenahme von Figuren genauer beschrieben. In der Figurenbeschreibung wird teilweise auf Bezugszeichen bereits zuvor beschriebener Figuren zurückgegriffen. Im Einzelnen zeigen

Fig. 3 eine Darstellung einer Ausführungsform der Vorrichtung zum Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung einer Referenzstruktur eines hochpräzisen Prüflings mit einem einseitig gelagerten Messteil;

Fig. 4 eine vereinfachte Ausschnittsdarstellung einer ersten alternativen Ausführungsform der Vorrichtung mit einem einseitig gelagerten Messbügel als Messteil und einem Handhabungsroboter;

- Fig. 5 eine vereinfachte Ausschnittsdarstellung einer zweiten alternativen Ausführungsform der Vorrichtung mit einer einseitig gelagerten Messwippe als Messteil und einem Handhabungsroboter;
- 5
- Fig. 6 eine vereinfachte Ausschnittsdarstellung einer dritten alternativen Ausführungsform der Vorrichtung mit einem einseitig gelagerten Messrad als Messteil und einem Handhabungsroboter;
- 10
- Fig. 7 eine vereinfachte Ausschnittsdarstellung einer vierten alternativen Ausführungsform der Vorrichtung mit einem mittig, in der Messebene gelagerten Messring als Messteil;
- 15
- Fig. 8 eine schematische Darstellung des Strahlengangs mit einer ebenen Reflexionsfläche als Referenzstruktur des Prüflings;
- 20
- Fig. 9 eine schematische Darstellung des Strahlengangs mit einer konvexen Linse als Referenzstruktur des Prüflings;
- Fig. 10 eine schematische Darstellung des Strahlengangs mit einer Strichplatte als Referenzstruktur des Prüflings;
- 25
- Fig. 11 eine schematische Darstellung des Strahlengangs bei Abbildung einer Struktur innerhalb einer optischen Zueleinheit auf den Detektor.
- 30
- In Fig. 3 ist eine mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vorrichtung dargestellt. Die Vorrichtung umfasst einen Sockel 2 aus Granit, der auf einem Gestell 24 ruht. Der Sockel 2 ist aus mehreren Teilelementen

## 25

zusammengesetzt, die gemeinsam etwa eine L-Form ergeben. Auf dem Sockel 2 befindet sich eine Horizontalmesseinheit 25, die ein Aufnahmeteil 3, welches um eine in Lotrichtung weisende Aufnahmeteil-Achse 4 motorisch hochpräzise drehbar ist, besitzt. Die gesamte Vorrichtung ist durch Verstellen des Gestells 24 so ausrichtbar, dass die Aufnahmeteil-Achse 4 exakt in Lotrichtung weist, wobei mittels eines Neigungssensors (nicht dargestellt) die Ausrichtung überwacht wird. Die drehbare Lagerung des Aufnahmeteils 3 erfolgt über eine Aufnahmeteil-Lagereinheit 27, die als ein Luftlager ausgebildet ist. Ein Aufnahmeteil-Verdrehwinkel zwischen dem Aufnahmeteil 3 und dem Sockel 2 um die Aufnahmeteil-Achse 4 ist mittels eines ersten Winkel-Encoders (nicht dargestellt) hochpräzise messbar. Ein Prüfling 1 in Form eines Theodoliten mit einer optischen Zieleinheit 18 in Form eines Fernrohrs, das um eine Stehachse 20 elektromotorisch drehbar und um eine Kippachse 21 elektromotorisch kippbar ist, wird mit seinem Prüflings-Unterteil 19 auf dem Aufnahmeteil 3 mittels eines Schnellverschlusses 26 fixiert, wobei die Stehachse 20 des Prüflings 1 mit der Aufnahmeteil-Achse 4 zusammenfällt. Auf dem Sockel 2 ist ausserdem ein etwa L-förmiges Messteil 5 drehbar angeordnet. Dieses Messteil 5 wird axial und radial von einer als Luftlager ausgebildeten Messteil-Lagereinheit 6 gelagert. Das Messteil 5 ist gegenüber dem Sockel 2 um eine Messteil-Achse 7 hochpräzise motorisch drehbar, wobei ein Messteil-Verdrehwinkel um die Messteil-Achse 7 zwischen dem Messteil 5 und dem Sockel 2 mittels eines zweiten Winkel-Encoders (nicht dargestellt) hochpräzise messbar ist. Die Messteil-Achse 7 und die Kippachse 21 liegen in einer gemeinsamen Ebene, die von der Aufnahmeteil-Achse 4 und der Stehachse 20 senkrecht durchstossen wird, wobei dieser Durchstosspunkt den Schnittpunkt zwischen der Messteil-Achse 7 und der Kippachse 21 des Prüflings 1 bildet. Abhängig von der Ausrichtung des Prüflings 1 gegenüber dem Aufnahmeteil 4

können die Messteil-Achse 7 und die Kippachse 21 aufeinander liegen, was in der in Fig. 3 gezeigten Darstellung der Fall ist. Somit ist es möglich, die Zieleinheit 18 und das Messteil 5 um eine gemeinsame Achse zu schwenken. Bei der Messteil-Lagereinheit 6 handelt es sich um ein hochpräzises Luftlager, das ein leichtgängiges jedoch stabiles Schwenken des Messteils 5 um die Messteil-Achse 7 unter Einhaltung kleinster Toleranzen ermöglicht. Da die Messteil-Lagereinheit 6 auf einer einzigen Seite einer von der Messteil-Achse 7 senkrecht durchstossenen Messebene 11, in der die Aufnahmeteil-Achse 4 liegt, am Sockel 2 angeordnet ist, ist es möglich, die Messteil-Lagereinheit 6 exakt zu justieren, ohne dass es aufgrund statischer Überbestimmtheit zu Verspannungen mit einer Lagereinheit auf der anderen Seite der Messebene 11 kommt. In Fig. 3 ist ein kleiner Ausschnitt der Messebene 11 symbolisch dargestellt. Auf dem Messteil 5 befindet sich eine Optikeinheit 8 mit einem optischen Detektor (in Fig. 3 nicht dargestellt, siehe unten), wobei die Optikeinheit 8 so auf dem Messteil 5 angeordnet ist, dass ein aus Richtung des Prüflings 1 kommendes Prüflings-Strahlenbündels (in Fig. 3 nicht dargestellt, siehe unten) von dem Detektor empfangbar ist, welches Prüflings-Strahlenbündel im Wesentlichen in der von der Messteil-Achse 7 senkrecht durchstossenen Messebene 11, in der die Aufnahmeteil-Achse 4 liegt, verläuft. In Fig. 3 wird das Prüflings-Strahlenbündel von einer in der Zieleinheit 18 angeordneten, beleuchteten Strichplatte (in Fig. 3 nicht dargestellt) hervorgerufen. In diesem Fall handelt es sich bei der Strichplatte um die Referenzstruktur, deren Winkelausrichtung zu prüfen ist. Die beleuchtete Strichplatte wird hierbei über ein Objektiv 16 der Zieleinheit 18 auf den Detektor der Optikeinheit 8 abgebildet und erzeugt somit eine Vielzahl von Punkten auf dem Detektor. Die Lage dieser Abbildung auf dem Detektor ändert sich bei geringfügiger Verdrehung des Aufnahmeteils 3 um die Aufnahmeteil-Achse 4 und

des Prüflings 1 um die Stehachse 20 bzw. des Messteils 5 um die Messteil-Achse 7 und der Zieleinheit 18 um die Kippachse 21. Somit ist es möglich, bei motorischem Verstellen der Vorrichtung und des Prüflings 1 um die jeweiligen Achsen, 5 anschliessendem Fein-Ausrichten, gesteuert durch die Lage der Abbildung auf dem Detektor, und Vergleichen der jeweiligen Winkelmesswerte die Winkelprüfung hochpräzise durchzuführen. Eine Steuerungs-Regelungs-Einheit 13 übernimmt hierbei die Auswertung des Detektors der Optikeinheit 8 und das motorische 10 Ausrichten der Optikeinheit 8 gegenüber der Referenzstruktur des Prüfling 1 mittels motorischem Einstellen des Aufnahmeteils 3 und des Messteils 5 in Abhängigkeit von der Lage der Abbildung auf dem Detektor. Ausserdem übernimmt die Steuerungs-Regelungs-Einheit 13 die Ansteuerung der 15 elektromotorischen Ausrichtung der Zieleinheit 18 des Prüflings 1 und die Erfassung und Auswertung der Winkelmesswerte der Vorrichtung und des Prüflings 1, wobei die Kommunikation mit dem Prüfling 1 über ein im Aufnahmeteil 3 angeordnetes Schleiffringsystem (nicht dargestellt) oder per 20 Funkverbindung über Bluetooth erfolgt.

Fig. 4 zeigt eine vereinfachte Ausschnittsdarstellung einer ersten alternativen Ausführungsform der Vorrichtung von Fig. 3. Wie in Fig. 3 weist die Vorrichtung zum Prüfen eines 25 Prüflings 1 einen mehrteiligen Sockel 2 mit einer Messteil-Lagereinheit 6 und einer Horizontalmesseinheit 25, die eine Aufnahmeteil-Lagereinheit 27 und ein um die Aufnahmeteil-Achse 4 drehbares Aufnahmeteil 3 umfasst, auf. Das auf einer einzigen Seite der Messebene 11 durch die als Luftlager 30 ausgebildete Messteil-Lagereinheit 6 gelagerte Messteil ist als ein Messbügel 5a ausgebildet, der zwei rechtwinklig zueinander angeordnete Schenkeln 5a', 5a'' besitzt. Auf einem dieser Schenkel 5a', 5a'' ist die Optikeinheit 8 angeordnet. Die Vorrichtung weist ausserdem einen Handhabungsroboter 22

auf, der einen Robotersockel 29 und einen elektromotorisch um die Messteil-Achse 7 schwenkbaren Greifer 28 umfasst. Zwischen dem Greifen 28 und der Zieleinheit 18 des Prüflings 1, insbesondere dem Objektiv 16, ist eine mechanische Verbindung herstellbar, so dass die Zieleinheit 18 mittels des Handhabungsroboters 22 geschwenkt werden kann. Somit ist es möglich, einen Prüfling, der keine elektromotorische Verstellung seiner Zieleinheit besitzt, insbesondere einen mechanisch verstellbaren Theodoliten, mit der Vorrichtung zu prüfen, da die Ausrichtung des Prüflings 1 von dem Handhabungsroboter 22 übernommen wird. Durch eine variable Geometrie des Greifers 28 können Prüflinge unterschiedlicher Geometrien geprüft werden.

In Fig. 5 wird eine zweite alternative Ausführungsform der Vorrichtung von Fig. 3 vereinfacht in einem Ausschnitt dargestellt. Hier ist das Messteil als eine Messwippe 5b ausgebildet, wobei ein wesentlicher Teil dieser Messwippe 5b spiegelsymmetrisch bezüglich einer Ebene ist, in welcher die Messteil-Achse 7 liegt. Neben dem Sockel 2, der auf einer einzigen Seite der Messebene 11 angeordnet, als ein Luftlager ausgebildeten Messteil-Lagereinheit 6, der Horizontalmesseinheit 25, welche die Aufnahmeteil-Lagereinheit 27 und das um die Aufnahmeteil-Achse 4 drehbare Aufnahmeteil 3 umfasst, und dem Handhabungsroboter 22 mit dem Robotersockel 29 wird der Prüfling 1 mit der optischen Zieleinheit 18 einschliesslich einem Okular 23 gezeigt. Auf der Messwippe 5b ist ausser der Optikeinheit 8 auf derjenigen, der Optikeinheit 8 bezüglich der Messteil-Achse 7 gegenüberliegenden Seite eine Zusatzoptikeinheit 15 angeordnet. Diese Zusatzoptikeinheit 15 ist als ein Zusatz-Emitter ausgebildet, der eine Strahlung 30 erzeugt, die eine Strichplatte (nicht dargestellt) in der Zieleinheit 18 seitens des Okulars 23 beleuchtet. Durch die Strichplatte wird die Strahlung 30 durch Ablendung bezüglich

eines Strahlungsparameters verändert, wobei diese veränderte Strahlung das Prüflings-Strahlenbündel 10 bildet, das über das Objektiv 16 die Zieleinheit 18 verlässt, von der Optikeinheit 8 erfasst wird und mindestens einen Punkt auf dem Detektor (in Fig. 5 nicht dargestellt) erzeugt. Alternativ ist es möglich, die Zusatzoptikeinheit 15 als einen Zusatz-Spiegel auszubilden. In diesem Fall wird die Strahlung beispielsweise von der Optikeinheit 8 ausgesendet, von dem Zusatz-Spiegel reflektiert, von der Strichplatte bezüglich eines Strahlungsparameters verändert, wobei dieser Veränderung entweder vor, nach oder vor und nach der Reflexion am Zusatz-Spiegel erfolgt, und trifft anschliessend auf den Detektor.

In Fig. 6 ist eine vereinfachte Ausschnittsdarstellung einer dritten alternativen Ausführungsform der Vorrichtung mit einem als Messrad 5c ausgebildeten Messteil dargestellt. Das Messrad 5c wird von der auf einer einzigen Seite der Messebene 11 angeordneten und als Luftlager ausgebildeten Messteil-Lagereinheit 6 um die Messteil-Achse 7 drehbar gelagert. Wie in den obigen Aufbauten weist die Vorrichtung eine Horizontalmesseinheit 25 mit einer Aufnahmeteil-Lagereinheit 27 zum - um die Aufnahmeteil-Achse 4 drehbaren - Lagern des Aufnahmeteil 3 auf. Weiters sind der auf dem Aufnahmeteil 3 positionierte Prüfling 1 mit seiner Zieleinheit 18 und dem Objektiv 16, und der Handhabungsroboter 22 mit dem Robotersockel 29 zu sehen. Aufgrund der Geometrie des Messrades 5c weist die Vorrichtung hingegen einen Sockel 2a auf, der so ausgebildet ist, dass das Messrad 5c den Prüfling 1 und die Horizontalmesseinheit 25 umschliesst. Auf dem Messrad 5c sind sowohl die Optikeinheit 8, als auch auf der gegenüberliegenden Seite die Zusatzoptikeinheit 15 angeordnet. Die rotationssymmetrische Form des Messrades 5c hat den Vorteil, dass elastische Verformungen, die sich in

Abhängigkeit von der Lage der Optikeinheit 8 und der Zusatzoptikeinheit 15 ergeben, weitgehend vermeiden lassen.

Während sich in den vorangegangenen beispielhaften Ausführungsformen die Messteil-Lagereinheit auf einer einzigen Seite der Messebene 11 befindet, zeigt Fig. 7 eine Ausführungsform, in der die Messteil-Lagereinheit innerhalb der Messebene 11 angeordnet ist. Die auf einem Sockel 2b fixierte Horizontalmesseinheit 25 mit einer Aufnahmeteil-Lagereinheit 27 zum drehbaren Lagern des Aufnahmeteils 3 um die Aufnahmeteil-Achse 4 entspricht den vorangegangenen Beschreibungen. Der auf dem Aufnahmeteil 3 positionierte Prüfling 1 mit seiner Zieleinheit 18, dem Okular 23 und dem Objektiv 16 besitzt eine beleuchtete Strichplatte (in Fig. 7 nicht dargestellt), deren ausgesandte Strahlung nach Formung durch das Objektiv 16 das Prüflings-Strahlenbündel 10 bildet. Der Prüfling 1 und die Horizontalmesseinheit 25 wird von einem ringförmigen, als Messring 5d ausgebildeten Messteil umschlossen. Der in seiner Grundform rotationssymmetrische Messring 5d ist um die Messteil-Achse 7 drehbar gelagert, wobei die Lagerung über eine als Luftlager ausgebildete Messteil-Lagereinheit 6a erfolgt, die auf und teilweise in dem mehrteiligen Sockel 2b angeordnet ist. Die Aussenfläche und gegebenenfalls auch die Innenfläche des Messrings 5d stellen hierbei Lagerflächen des Luftlagers dar. Eine auf dem Messring 5d montierte Optikeinheit 8 mit einem optischen Detektor (in Fig. 7 nicht dargestellt) dient, wie bereits oben beschreiben, zum Empfangen des Prüflings-Strahlenbündels 10, durch welches die Strichplatte auf den Detektor der Optikeinheit 8 abgebildet wird und dort somit eine Vielzahl von Punkten erzeugt. Es ist möglich, vergleichbar mit Fig. 5 und Fig. 6, den Messring 5d ebenfalls mit einer Zusatzoptikeinheit 15, insbesondere einem Zusatz-Emitter oder einem Zusatz-Spiegel, auszustatten. Da die Messteil-Lagereinheit 6a mittig



angeordnet ist und sich in der Messebene 11, unterhalb des Prüflings 1 und unterhalb der Horizontalmesseinheit 25 befindet, ist der Prüfling 1 von beiden Seiten leicht zugänglich, was vor allem bei der Montage des Prüflings 1 und  
5 Kalibrierarbeiten am Prüfling 1 vorteilhaft ist. Durch die rotationssymmetrische Grundform des Messrings 5d und die nahe oder im Lot des Schwerpunkts des Messrings 5d befindliche Messteil-Lagereinheit 6a werden Biege- und Torsionsmomente am Messteil weitgehend vermieden.

10

Fig. 8 zeigt den Strahlengang einer möglichen Ausführungsform, bei welcher die Optikeinheit den Aufbau eines bekannten Autokollimators aufweist und die Referenzstruktur des Prüflings von einer ebenen Reflexionsfläche gebildet wird. Die  
15 als Autokollimator ausgebildete Optikeinheit 8a umfasst einen Emittter 31a, eine Optikeinheit-Marke 32 in Form einer Strichplatte, einen Teilerwürfel 33 zur physikalischen Strahlteilung, ein Optikeinheit-Objektiv 34a und einen optischen Detektor 9. Die Optikeinheit 8a sendet eine  
20 Strahlung in Form eines kollimierten Sende-Strahlungsbündels 35a aus, das von einer ebenen, die Referenzstruktur bildenden Reflexionsfläche 36 am Prüfling 1 reflektiert wird. Dieses reflektierte und somit bezüglich eines Strahlungsparameters veränderte Strahlungsbündel bildet das Prüflings-  
25 Strahlenbündel 10a, das somit ebenfalls kollimiert ist. Das Prüflings-Strahlenbündel 10a wird, sofern das kollimierte Sende-Strahlungsbündels 35a im Wesentlichen senkrecht auf die ebenen Reflexionsfläche 36 auftrifft, vom Optikeinheit-Objektiv 34a erfasst und auf den Detektor 9 fokussiert, auf  
30 welchem somit die Optikeinheit-Marke 32 abgebildet wird und mindestens einen Punkt 12 bzw. eine Schar solcher Punkte 12 auf dem Detektor 9 erzeugt. Die Lage dieser Abbildung und dieser Schar von Punkten 12 ist abhängig von der Winkelausrichtung der Optikeinheit 8a gegenüber der ebenen

Reflexionsfläche 36 bzw. der Referenzstruktur des Prüflings 1. Diese ebene Reflexionsfläche 36 kann einerseits - wie aus dem Stand der Technik bekannt - von einem Aufsatzspiegel 108, 142 (siehe Fig. 1 und 2) auf dem Prüfling gebildet werden, oder  
5 erfindungsgemäss direkt von einer ebenen Reflexionsfläche als Referenzstruktur am Prüfling 1. Es ist hiermit möglich, auch einen polygonalen Spiegel, beispielsweise einen für das Rosettenverfahren einzusetzenden Referenzspiegel, bezüglich der Ausrichtung seiner Spiegelflächen zu untersuchen.

10

Die bezüglich der Winkelausrichtung zu untersuchende Referenzstruktur zahlreicher Prüflinge wird jedoch oft nicht - wie oben - von einer ebenen Fläche gebildet, sondern von einer gewölbten Struktur, beispielsweise einer innerhalb des

15 Objektivs 16 der Zieleinheit 18 befindlichen Linse. In Fig. 9 wird die Optikeinheit 8a - wie auch in Fig. 8 - dargestellt.

Vor dem Optikeinheit-Objektiv 34a ist jedoch eine zusätzliche Vorsatzlinse 37a in Form einer Zerstreuungslinse angeordnet, so dass das Sende-Strahlungsbandel 35b divergiert. Das

20 divergierende Sende-Strahlungsbandel 35b trifft auf eine erste und eine zweite Sammellinse 38a' und 38a'' des Objektivs 16

der optischen Zieleinheit 18 des Prüflings 1, wird von diesen Sammellinsen 38a' und 38a'' fokussiert, trifft auf die konvexe Linse 39, welche hier die Referenzstruktur des Prüflings 1

25 bildet, und wird von dieser konvexen Linse 39 reflektiert, wodurch eine Veränderung eines Strahlungsparameters stattfindet. Das reflektierte Strahlungsbandel bildet das

Prüflings-Strahlenbandel 10b, welches wie oben beschrieben auf den Detektor 9 der Optikeinheit 8a fokussiert wird. Damit die

30 hauptsächliche Reflexion des Sende-Strahlungsbandels 35b an der konvexen Linse 39 - und nicht an einer vorgeschalteten Linse - erfolgt, ist der Einsatz von optischen Filtern (in Fig. 9 nicht dargestellt), die dem Emitter 31a nachgeschaltet sind, möglich. Die Prüfung der Winkelausrichtung durch die

- Optikeinheit 8a erfolgt in der oben beschriebenen Weise. Es ist möglich, die erfindungsgemässe Vorrichtung durch einen flexiblen Einsatz der Vorsatzlinse 37a von einer ebenen auf eine konvexe oder gegebenenfalls eine konkave Referenzstruktur umzurüsten, ohne dabei einen wesentlichen Eingriff in die Vorrichtung vorzunehmen. Die Ausgestaltung der Vorsatzlinse hängt insbesondere von der Form der als Referenzstruktur dienenden Linse und dem vorangeschalteten Linsensystem ab.
- 10 In einer weiteren Ausführungsform, wie in Fig. 10 gezeigt, wird die Referenzstruktur von einer Strichplatte in der Zieleinheit des Prüflings gebildet. Die Optikeinheit 8b weist einen Emitter 31b, einen Teilerwürfel 33 zur physikalischen Strahlteilung, ein Optikeinheit-Objektiv 34b und einen
- 15 optischen Detektor 9 auf. Die Optikeinheit 8b sendet eine Strahlung in Form eines Sende-Strahlungsbündels 35c aus, das von dem Objektiv 16 der Zieleinheit 18 des Prüflings 1 erfasst wird, auf die Strichplatte 14 der Zieleinheit 18 trifft und diese Strichplatte 14 beleuchtet. Die Strichplatte 14 befindet
- 20 sich im Brennpunkt des Objektivs 16 der Zieleinheit 18. Die durch diese Beleuchtung der Strichplatte 14 hervorgerufene Reflexion bildet ein Strahlungsbündel, das nach Kollimierung durch nämliches Objektiv 16 das Prüflings-Strahlenbündel 10c darstellt. Dieses Prüflings-Strahlenbündel 10c wird vom
- 25 Optikeinheit-Objektiv 34b auf den Detektor 9 fokussiert, auf welchem somit die Strichplatte 14 der Zieleinheit 18 des Prüflings 1 abgebildet wird und dort eine Schar von Punkte 12 erzeugt. Die Lage dieser Abbildung bzw. der Schar dieser Punkte 12 auf dem Detektor 9 ist abhängig von der
- 30 Winkelausrichtung der Zieleinheit 18 bzw. der Strichplatte 14 als Referenzstruktur des Prüflings 1 gegenüber der Optikeinheit 8b der Vorrichtung. Alternativ ist es beispielsweise möglich, die Strichplatte 14 nicht über das Objektiv 16 mittels eines Emitters 31b innerhalb der

Optikeinheit 8b zu beleuchten, sondern die Beleuchtung auf der anderen Seite der Strichplatte seitens des Okulars 23 (siehe Fig. 5 und Fig. 7) der Zieleinheit 18, beispielsweise über eine Zusatzoptikeinheit 15 (siehe Fig. 5 und 6) in Form eines Zusatz-Emitters, durchzuführen. Bei einer selbstleuchtenden Strichplatte oder einer durch eine Beleuchtung innerhalb der Zieleinheit 18 beleuchteten Strichplatte kann gänzlich auf einen externen Emitter verzichtet werden. Ferner sind weitere Beleuchtungsmöglichkeiten der Strichplatte 14 möglich, wobei unter Beleuchtung ebenfalls die Bestrahlung mit einer nicht sichtbaren Strahlung zu verstehen ist.

Soll eine Struktur oder ein Objekt, beispielsweise eine Strichplatte oder eine Blende, innerhalb der Zieleinheit 18 untersucht werden, kann dies in der in Fig. 11 beschriebenen Weise geschehen. Die Optikeinheit 8c weist einen Emitter 31c, einen Teilerwürfel 33 zur physikalischen Strahlteilung, ein Optikeinheit-Objektiv 34c und einen optischen Detektor 9 auf. Eine Strahlung in Form eines Sende-Strahlungsbündels 35d wird von der Vorsatzlinse 37b gestreut und beleuchtet eine Struktur 40 innerhalb der optischen Zieleinheit 18 des Prüflings 1. Diese beleuchtete Struktur 40 wird über die Sammellinsen 38b' und 38b'', die Vorsatzlinse 37b und das Optikeinheit-Objektiv 34c auf den Detektor 9 mittels dem Strahlenbündel 10d abgebildet und kann somit graphisch dargestellt und geprüft werden. Andere Beleuchtungsvarianten, wie oben bereits beschrieben, sind auch hier realisierbar.

Es ist möglich, die in Fig. 8 bis 11 beschriebenen Prüfverfahren mit einer einzigen Optikeinheit, gegebenenfalls unter Verwendung von unterschiedlichen Objektiven oder Vorsatzlinsen, durchzuführen und hierdurch eine einzige Vorrichtung ohne aufwendiges Umrüsten für unterschiedliche Prüflinge oder Prüfverfahren zu verwenden.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Prüfen oder Kalibrieren der  
winkelabhängigen Ausrichtung einer Referenzstruktur eines  
5 hochpräzisen Prüflings (1), mit
- einem Sockel (2, 2a, 2b),
  - einem Aufnahmeteil (3) zur Aufnahme des Prüflings (1),  
wobei das Aufnahmeteil (3) gegenüber dem Sockel (2, 2a,  
2b) um eine Aufnahmeteil-Achse (4) drehbar gelagert ist  
10 und ein Aufnahmeteil-Verdrehwinkel um die Aufnahmeteil-  
Achse (4) zwischen dem Sockel (2, 2a, 2b) und dem  
Aufnahmeteil (3) messbar ist,
  - einem Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d) mit einer Messteil-  
Lagereinheit (6, 6a) zur drehbaren Lagerung des  
15 Messteils (5, 5a, 5b, 5c, 5d) gegenüber dem Sockel (2,  
2a, 2b) um eine die Aufnahmeteil-Achse (4) rechtwinklig  
schneidende Messteil-Achse (7), wobei ein Messteil-  
Verdrehwinkel um die Messteil-Achse (7) zwischen dem  
Sockel (2, 2a, 2b) und dem Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d)  
20 messbar ist,
  - einer auf dem Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d) angeordneten  
Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) mit einem optischen  
Detektor (9) zum Empfangen mindestens eines mit der  
Referenzstruktur des Prüflings (1) in Wechselwirkung  
25 stehenden Prüflings-Strahlenbündels (10, 10a, 10b, 10c,  
10d), das im Wesentlichen in einer von der Messteil-  
Achse (7) senkrecht durchstossenen Messebene (11), in  
der die Aufnahmeteil-Achse (4) liegt, verläuft und auf  
dem Detektor (9) mindestens einen Punkt (12) erzeugt,  
30 und
  - einer Steuerungs-Regelungs-Einheit (13) zumindest zum  
motorischen Ausrichten der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c)  
gegenüber der Referenzstruktur des Prüfling (1) mittels

motorischem Einstellen des Aufnahmeteils (3) und des Messteils (5, 5a, 5b, 5c, 5d) in Abhängigkeit von der Lage des mindestens einen Punktes (12) auf dem Detektor (9),

- 5     **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messteil-Lagereinheit (6, 6a) auf einer einzigen Seite der Messebene (11) oder in der Messebene (11) angeordnet und als ein Luftlager ausgebildet ist.
- 10   2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messteil als ein Messbügel (5a) mit zwei - insbesondere rechtwinklig zueinander angeordneten - Schenkeln (5a', 5a'') ausgebildet ist.
- 15   3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein wesentlicher Teil des Messteils spiegelsymmetrisch bezüglich einer Ebene, in der die Messteil-Achse (7) liegt, in Form einer Messwippe (5b) ausgebildet ist.
- 20   4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein wesentlicher Teil des Messteils rotationssymmetrisch bezüglich der Messteil-Achse (7) ausgebildet ist und insbesondere die Form eines Messrades (5c), Messringes (5d) oder einer Scheibe aufweist.
- 25
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf derjenigen, der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) bezüglich der Messteil-Achse (7) gegenüberliegenden Seite auf dem Messteil (5b, 5c, 5d)
- 30   eine Zusatzoptikeinheit (15) - insbesondere mit einem Zusatz-Emitter oder einem Zusatz-Spiegel - angeordnet ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d) mindestens zweiteilig ausgebildet ist, wobei

- auf einem ersten Teilelement des Messteils (5, 5a, 5b, 5c, 5d) die Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) und
- auf einem zweiten Teilelement des Messteils (5, 5a, 5b, 5c, 5d) ein optisches Umlenkelement - insbesondere eine Spiegelungseinheit oder ein Lichtleiter - zum Umlenken oder Leiten des Prüflings-Strahlenbündels (10, 10a, 10b, 10c, 10d) in Richtung der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Optikeinheit als ein Autokollimator (8, 8a) zur Richtungsprüfung mit
  - einem Emitter (31a) zum Erzeugen einer Strahlung,
  - dem Detektor (9) und
  - einer Optikeinheit-Objektiv (34a) zum Formen der Strahlung in ein Sende-Strahlungsbündel (35a, 35b) und zum Fokussieren des Prüflings-Strahlenbündels (10, 10a, 10b) auf den Detektor (9) ausgebildet ist, und
- die Referenzstruktur des Prüflings (1) oder ein mit der Referenzstruktur verbundenes und in Wechselwirkung stehendes Teil eine Reflexionsfläche (36, 39) zur Reflexion des Sende-Strahlungsbündels (35a, 35b) aufweist, wobei das reflektierte Sende-Strahlungsbündel das Prüflings-Strahlenbündel (10, 10a, 10b) bildet.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** einen die Reflexionsfläche bildenden Aufsatzspiegel (108, 142), der mit der Referenzstruktur - insbesondere mit einem

Objektiv (16) - des Prüflings (1) verbindbar ist und im verbundenen Zustand mit der Referenzstruktur in Wechselwirkung steht.

- 5 9. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- der Autokollimator (8, 8a) eine Vorsatz-Linseneinheit (37a) zum Formen des Sende-Strahlungsbündels (35b) und des Prüflings-Strahlenbündels (10, 10b) aufweist und
  - 10 • die Reflexionsfläche von einer konvexen oder konkaven Oberfläche eines die Referenzstruktur bildenden Teils - insbesondere einer Linse (39) eines Objektivs (16) - des Prüflings (1) gebildet wird.
- 15 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Vorrichtung als eine Prüfmaschine zur Prüfung eines geodätischen Messinstruments - insbesondere eines Theodoliten, eines Nivelliers oder eines geodätischen Scanners - mit einer, eine Zielachse definierenden, um  
20 eine Stehachse (20) drehbaren und gegebenenfalls um eine Kippachse (21) schwenkbaren optischen Zieleinheit (18) ausgebildet ist,
  - das Aufnahmeteil (3) so ausgebildet ist, dass ein Prüflings-Unterteil (19) auf dem Aufnahmeteil (3)  
25 fixierbar ist, wobei die Stehachse (20) im Wesentlichen mit der Aufnahmeteil-Achse (4) und gegebenenfalls die Kippachse (21) im Wesentlichen mit der Messteil-Achse (7) zusammenfallen,
  - die Vorrichtung so gestaltet ist, dass die optische  
30 Zieleinheit (18) und die Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) um die Aufnahmeteil-Achse (4) und die Messteil-Achse (7) relativ zueinander ausrichtbar sind, wobei die Richtung des Prüflings-Strahlenbündels (10, 10a, 10b, 10c, 10d)



und die der Zielachse in einem definierbaren Zusammenhang stehen, und

- ein gemessener Prüflings-Horizontalwinkel und gegebenenfalls ein Prüflings-Vertikalwinkel erfassbar sind.

5

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **gekennzeichnet durch** einen von der Steuerungs-Regelungs-Einheit (13) ansteuerbaren Handhabungsroboter (22) zur Ausrichtung der optischen Zieleinheit (18) des geodätischen Messinstruments.

10

12. Verfahren zum Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung einer Referenzstruktur eines hochpräzisen Prüflings (1),

15

unter Verwendung einer Vorrichtung mit

- einem verstellbaren oder fixierten Aufnahmeteil (3) zur Aufnahme des Prüflings (1),
- einem verstellbaren Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d), wobei das Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d) und das Aufnahmeteil (3) relativ zueinander um eine Aufnahmeteil-Achse (4) und eine die Aufnahmeteil-Achse (4) rechtwinklig schneidende Messteil-Achse (7) drehbar sind, und ein Aufnahmeteil-Verdrehwinkel um die Aufnahmeteil-Achse (4) und ein Messteil-Verdrehwinkel um die Messteil-Achse (7) zwischen dem Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d) und dem Aufnahmeteil (3) messbar sind,
- einer auf dem Messteil (5, 5a, 5b, 5c, 5d) angeordneten Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) mit einem optischen Detektor (9) zum Empfangen mindestens eines mit dem Prüfling (1) in Wechselwirkung stehenden Prüflings-Strahlenbündels (10, 10a, 10b, 10c, 10d), das im Wesentlichen in einer von der Messteil-Achse (7)

20

25

30

senkrecht durchstossenen Messebene (11), in der die Aufnahmeteil-Achse (4) liegt, verläuft und auf dem Detektor (9) mindestens einen Punkt (12) erzeugt, und

- einer Steuerungs-Regelungs-Einheit (13) zumindest zum motorischen Ausrichten der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) gegenüber der Referenzstruktur des Prüflings (1) mittels motorischem Einstellen des Aufnahmeteil-Verdrehwinkels und des Messteil-Verdrehwinkels in Abhängigkeit von der Lage des mindestens einen Punktes (12) auf dem Detektor (9),

mit den Verfahrensschritten

- Anordnen des Prüflings (1) auf dem Aufnahmeteil (3),
- Vor-Ausrichten der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) und/oder der Referenzstruktur des Prüflings (1), so dass das Prüflings-Strahlenbündel (10, 10a, 10b, 10c, 10d) zumindest teilweise auf den Detektor (9) trifft und dort mindestens den einen Punkt (12) erzeugt,
- Auswerten der Lage des mindestens einen Punktes (12) auf dem Detektor (9), insbesondere durch die Steuerungs-Regelungs-Einheit (13),
- relatives Fein-Ausrichten der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) gegenüber der Referenzstruktur über die Steuerungs-Regelungs-Einheit (13) in Abhängigkeit von der Lage des mindestens einen Punktes (12) auf dem Detektor (9), so dass der mindestens eine Punkt (12) eine bestimmte Solllage auf dem Detektor (9) erreicht, und
- Erfassen zumindest des Aufnahmeteil-Verdrehwinkels und/oder des Messteil-Verdrehwinkels,

wobei eine Strahlung (30, 35a, 35b, 35c, 35d) von der Referenzstruktur des Prüflings (1) erzeugt oder bezüglich eines Strahlungsparameters - insbesondere durch Reflexion, Ablendung, Filterung oder Formung - verändert wird und die erzeugte oder veränderte Strahlung (30, 35a, 35b, 35c,

35d) das Prüflings-Strahlenbündel (10, 10a, 10b, 10c, 10d) bildet.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei der Prüfling (1)

5 - insbesondere ein Theodolit, ein Nivellier oder ein geodätischer Scanner - eine optische Zieleinheit (18) aufweist, die

- um eine Stehachse (20) und gegebenenfalls eine Kippachse (21) verstellbar ist,

10 • eine Zielachse bestimmt und

- eine optisch detektierbare Marke - beispielsweise eine Strichplatte (14) oder einen Leuchtaustritt - aufweist, wobei ein Stehachs-Verdrehwinkel und gegebenenfalls ein Kippachs-Verdrehwinkel erfassbar sind, und

15 wobei

- ein Prüflings-Unterteils (19) auf dem Aufnahmeteil (3) so angeordnet wird, dass die Aufnahmeteil-Achse (4) gegenüber der Stehachse (20) und gegebenenfalls die Messteil-Achse (7) gegenüber der Kippachse (21) im Wesentlichen kollinear verlaufen,

- vor oder während des Vor-Ausrichtens der Optikeinheit (8, 8a, 8b, 8c) ein Vor-Ausrichten der optischen Zieleinheit (18) erfolgt, und

- der Stehachs-Verdrehwinkel und/oder gegebenenfalls der Kippachs-Verdrehwinkel erfasst werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei

- die Strahlung (35a, 35b, 35c, 35d) von einem in der Optikeinheit (8a, 8b, 8c) angeordneten Emitter (31a, 31b, 31c) ausgesendet und geformt wird,

- anschliessend die Strahlung (35a, 35b, 35c, 35d) von der Referenzstruktur des Prüflings (1) reflektiert wird und

somit das Prüflings-Strahlenbündel (10a, 10b, 10c, 10d) bildet, und

- das Prüflings-Strahlenbündel (10a, 10b, 10c, 10d) beim Auftreffen auf ein Teil der Optikeinheit (8a, 8b, 8c) auf den Detektor (9) abgebildet wird und bei exakter Ausrichtung der Optikeinheit (8a, 8b, 8c) gegenüber der Referenzstruktur mindestens einen Punkt (12) auf einer bestimmten Solllage auf dem Detektor (9) erzeugt.
- 10 15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Referenzstruktur durch eine Linse (39) der Zieleinheit (18) gebildet wird.
16. Verfahren nach Anspruch 13, wobei
- die Referenzstruktur durch die optisch detektierbare Marke, die zumindest während des Feinausrichtens aktiv oder passiv beleuchtet ist, gebildet wird, und
  - die Strahlung (30, 35c) von der Marke erzeugt oder bezüglich des Strahlungsparameters verändert wird.
- 20 17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Marke als eine Strichplatte (14) ausgebildet ist, welche Strichplatte (14)
- selbstleuchtend ist oder zumindest während des Feinausrichtens durch einen in der optischen Zieleinheit (18) angeordneten Emitter beleuchtet wird,
  - das so gebildete Prüflings-Strahlenbündel (10, 10c) über ein Objektiv (16) der Zieleinheit (18) direkt oder indirekt zumindest teilweise auf den Detektor (9) abgebildet wird und
  - somit den mindestens einen Punkt (12) auf dem Detektor (9) erzeugt.

18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Marke als eine Strichplatte (14) ausgebildet ist und über einen seitens eines Objektivs (16) der Zieleinheit (18) angeordneten Emitter (31b) zumindest während des Feinausrichtens beleuchtet wird, wobei die Strichplatte (14) über das  
5      Objektiv (16) der Zieleinheit (18) direkt oder indirekt zumindest teilweise auf den Detektor (9) abgebildet wird und somit den mindestens einen Punkt (12) auf dem Detektor (9) erzeugt.

10

19. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Marke als eine Strichplatte (14) ausgebildet ist und über einen seitens eines Okulars (23) der Zieleinheit (18) angeordneten Zusatz-Emitter - insbesondere über eine Zusatzoptikeinheit  
15      - zumindest während des Feinausrichtens beleuchtet wird, wobei die Strichplatte (14) über ein Objektiv (16) der Zieleinheit (18) direkt oder indirekt zumindest teilweise auf den Detektor (9) abgebildet wird und somit den mindestens einen Punkt (12) auf dem Detektor (9)  
20      erzeugt.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19, wobei eine Struktur (40) mindestens eines Teils der Zieleinheit (18) auf den Detektor (9) abgebildet wird.

25

28. Juli 2003

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung einer Referenzstruktur eines hochpräzisen Prüflings (1). Die Vorrichtung umfasst einen Sockel (2), ein um eine Aufnahmeteil-Achse (4) drehbar gelagertes Aufnahmeteil (3) zur Aufnahme des Prüflings (1), und ein Messteil (5) mit einer Messteil-Lagereinheit (6) zur drehbaren Lagerung des Messteils (5) um eine Messteil-Achse (7). Auf dem Messteil (5) ist eine Optikeinheit (8) zum Empfangen mindestens eines mit der Referenzstruktur des Prüflings (1) in Wechselwirkung stehenden Prüflings-Strahlenbündels (10, 10a, 10b, 10c, 10d), das im Wesentlichen in einer Messebene (11) verläuft, angeordnet. Die Messteil-Lagereinheit (6) ist auf einer einzigen Seite der Messebene (11) oder in der Messebene (11) angeordnet und als ein Luftlager ausgebildet. Ausserdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Prüfen oder Kalibrieren der winkelabhängigen Ausrichtung einer Referenzstruktur eines hochpräzisen Prüflings (1), wobei eine Strahlung (30, 35a, 35b, 35c, 35d) von der Referenzstruktur des Prüflings (1) erzeugt oder bezüglich eines Strahlungsparameters - insbesondere durch Reflexion, Streuung, Brechung, Abblendung, Filterung oder Formung - verändert wird und die erzeugte oder veränderte Strahlung das Prüflings-Strahlenbündel (10, 10a, 10b, 10c, 10d) bildet.

Fig. 3

1/7

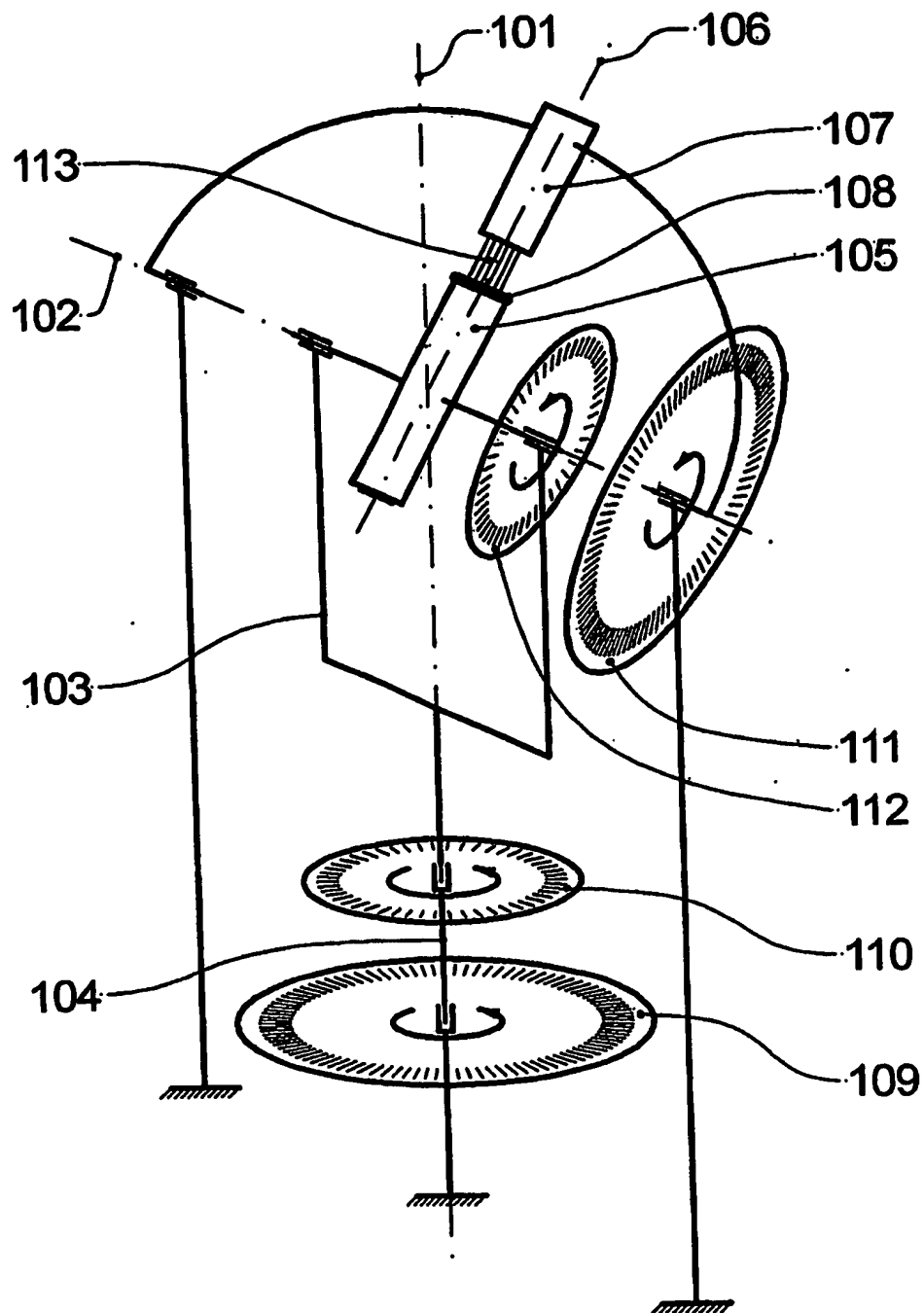
EPO.- Munich  
40  
28. Juli 2003

FIG. 1

2/7

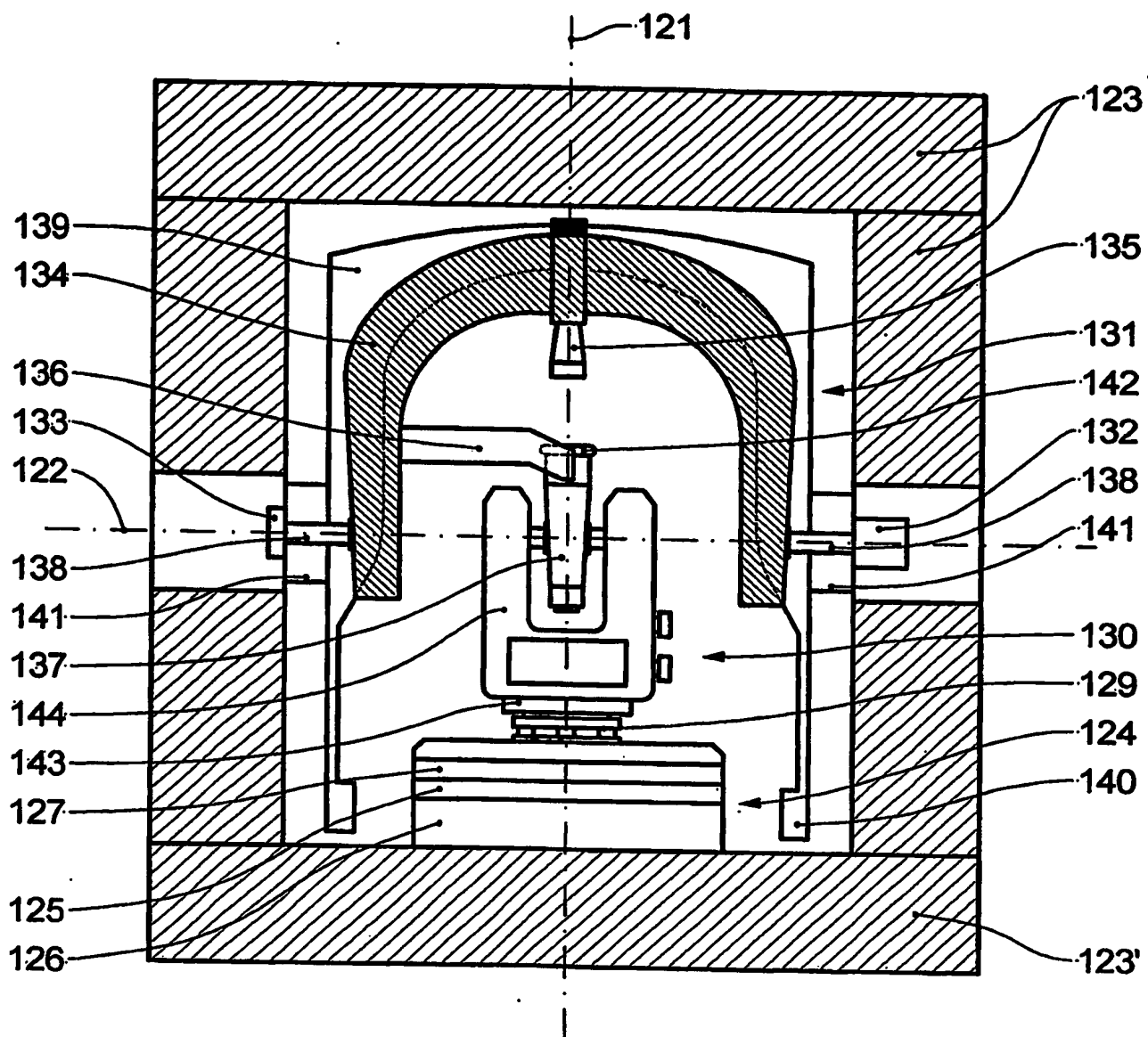


FIG. 2



3/7

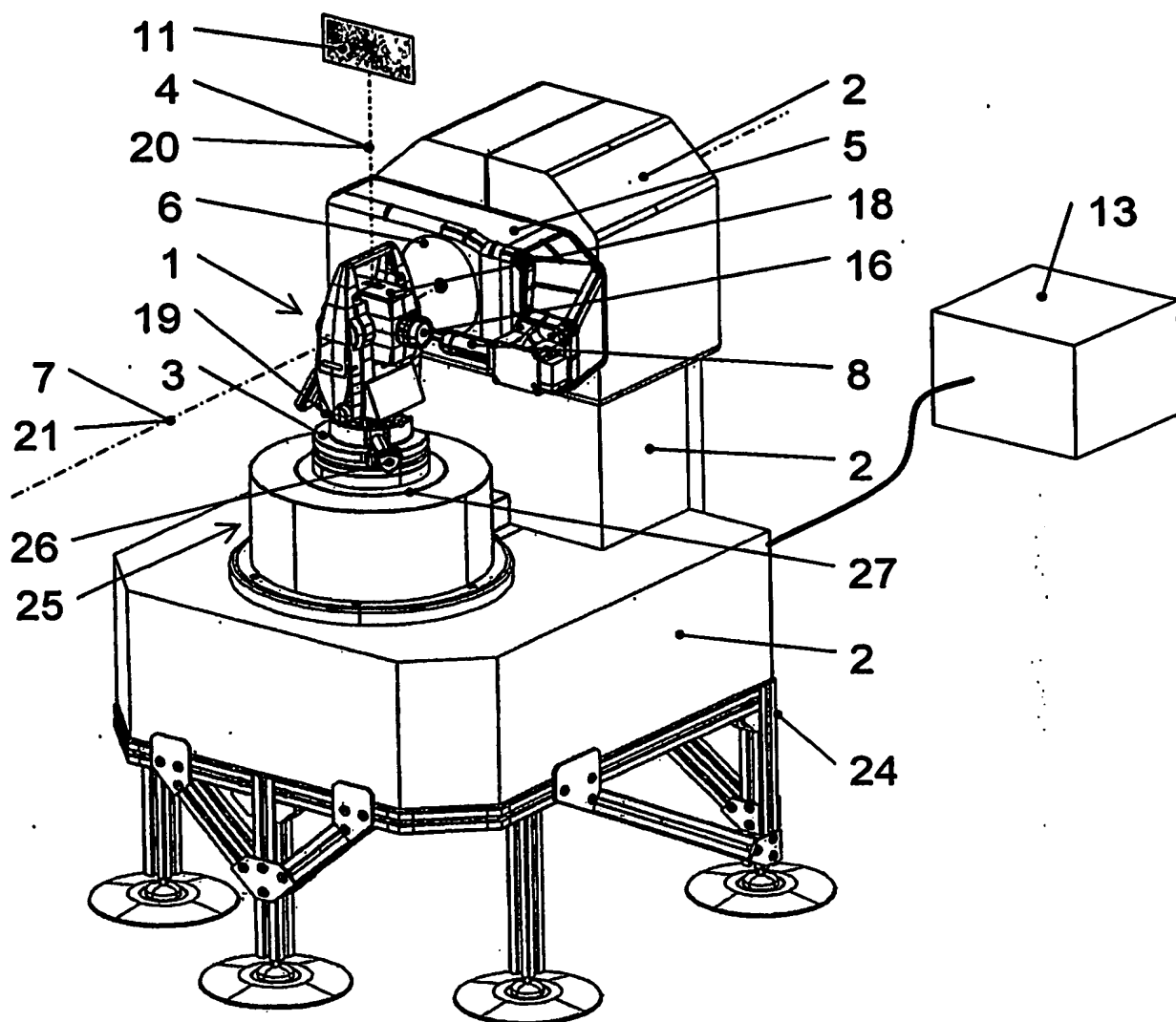
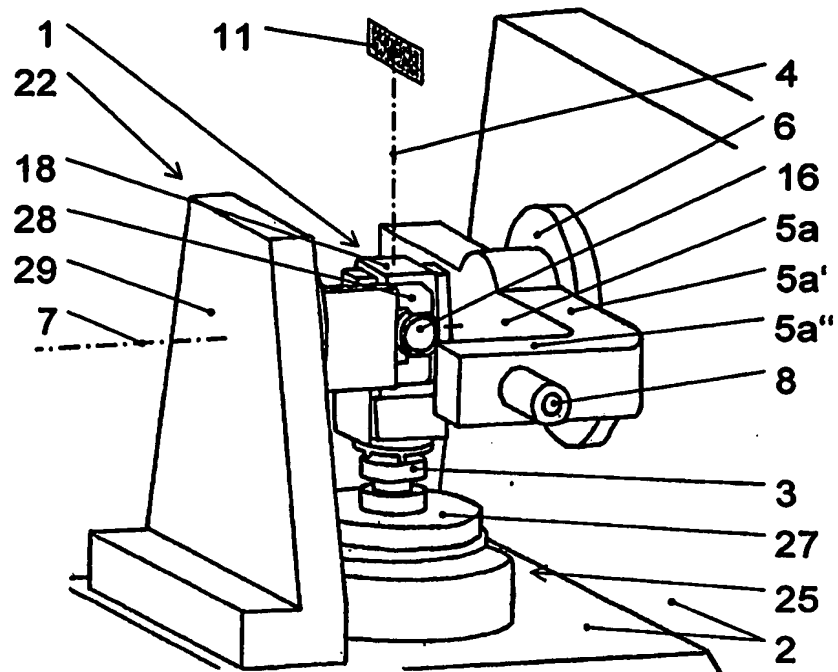
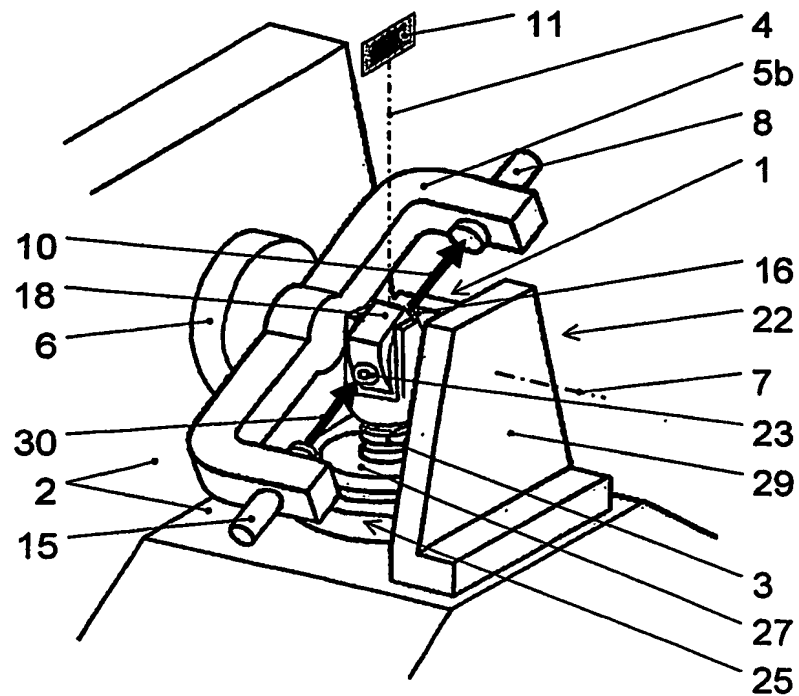


FIG. 3

4/7

**FIG. 4****FIG. 5**

5/7

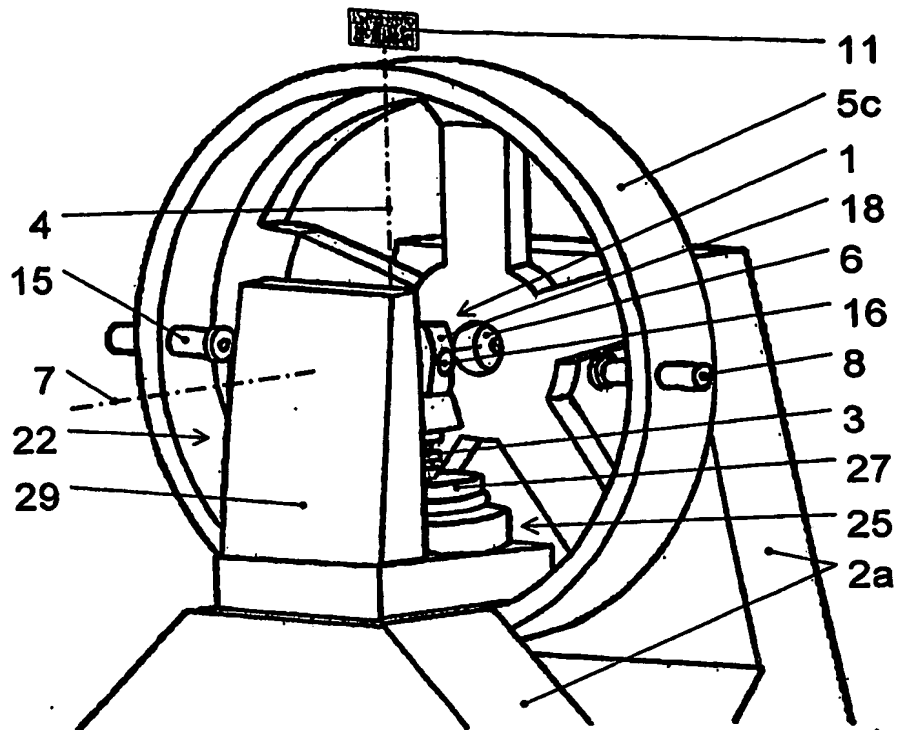


FIG. 6

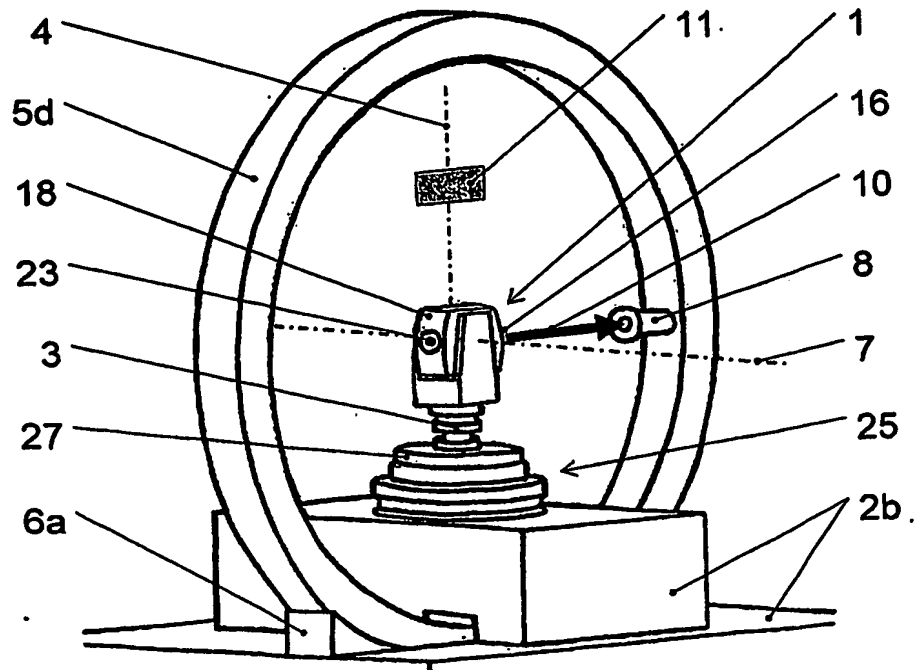
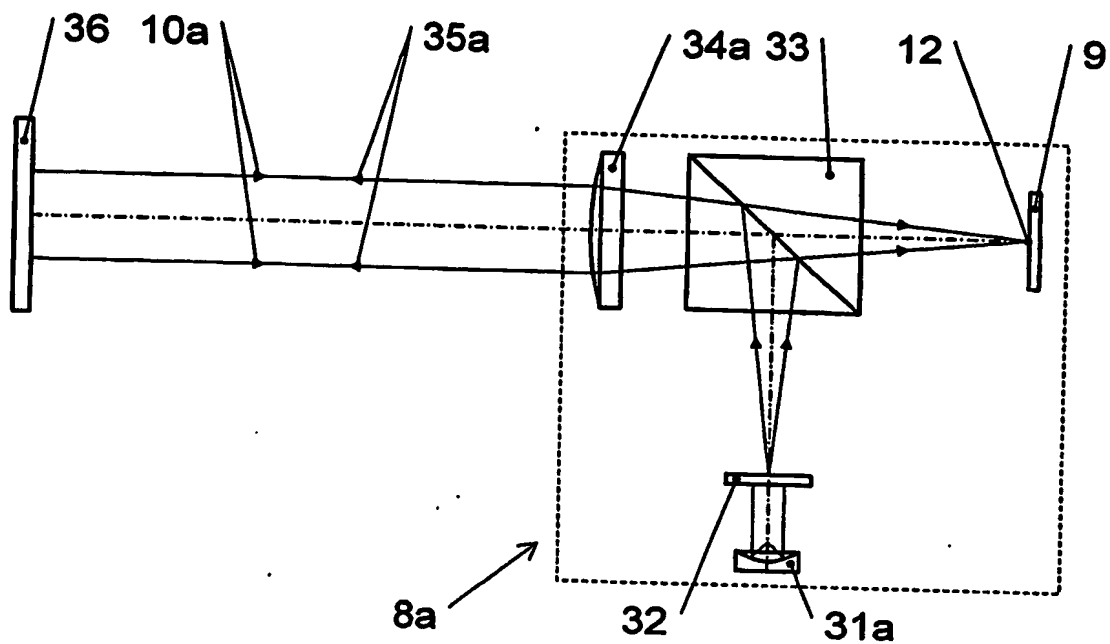
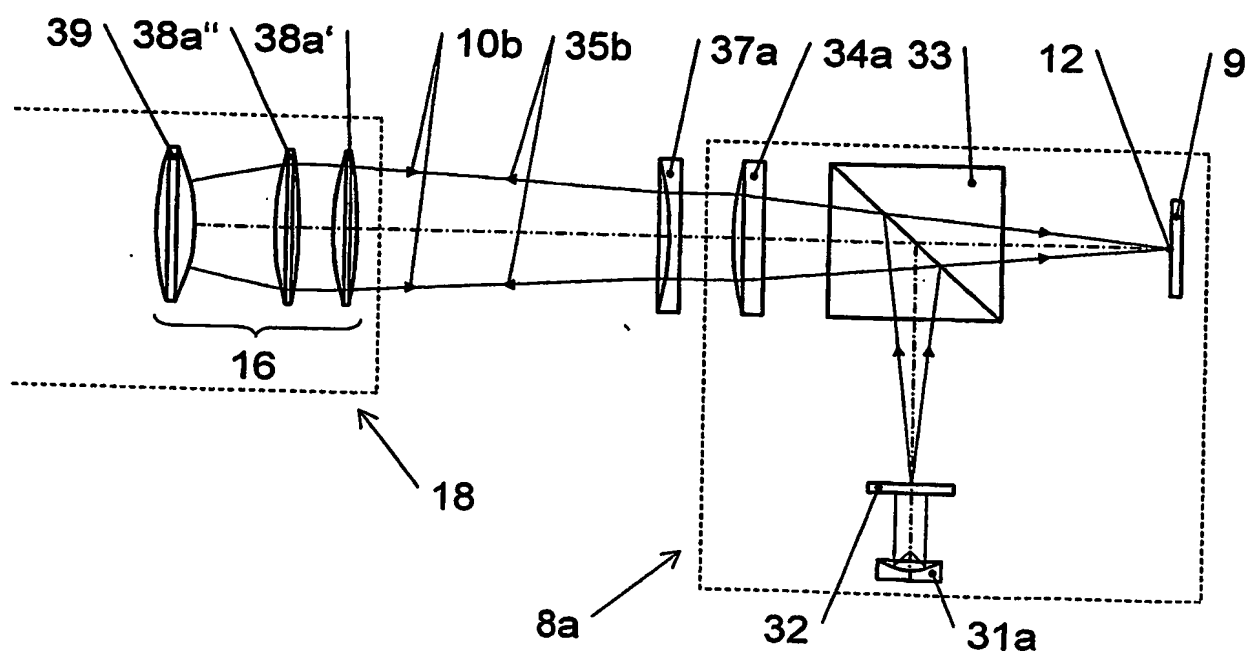


FIG. 7

6/7

**FIG. 8****FIG. 9**

7/7

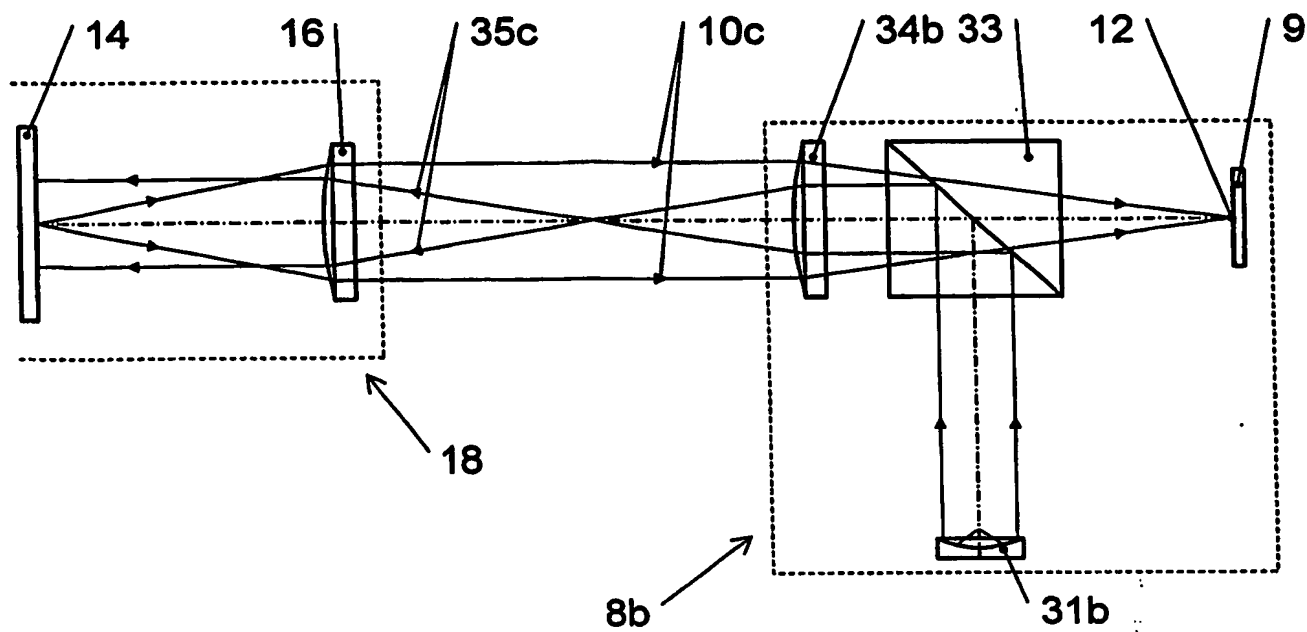


FIG. 10

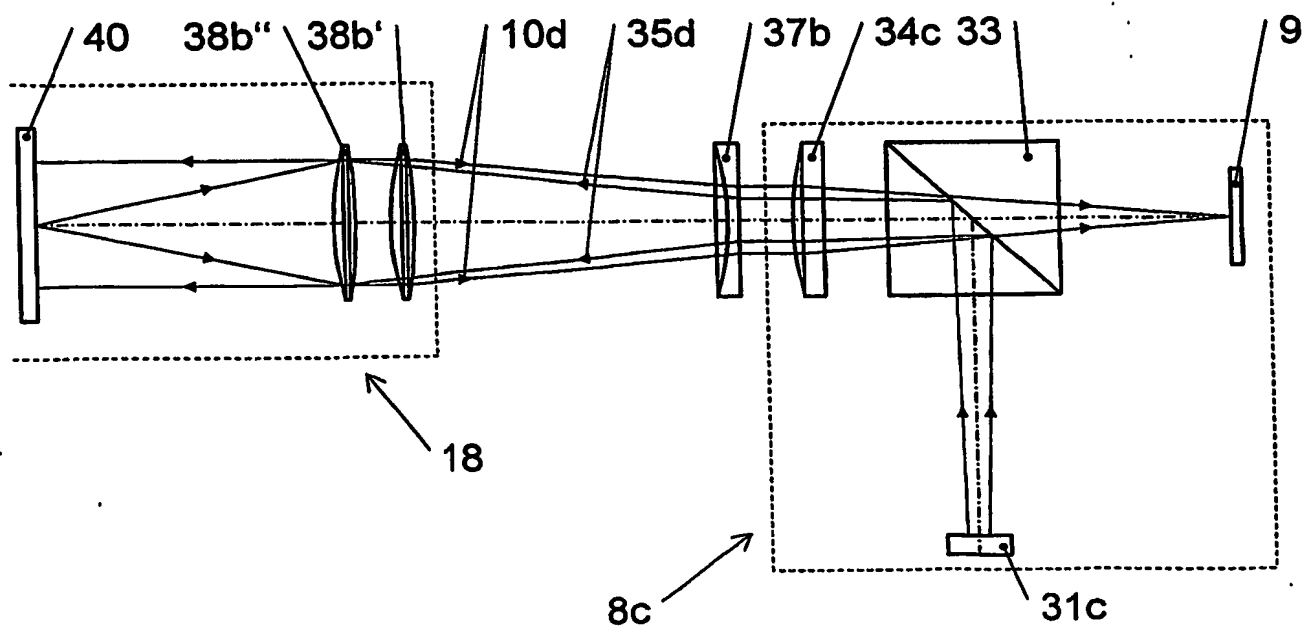


FIG. 11

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**